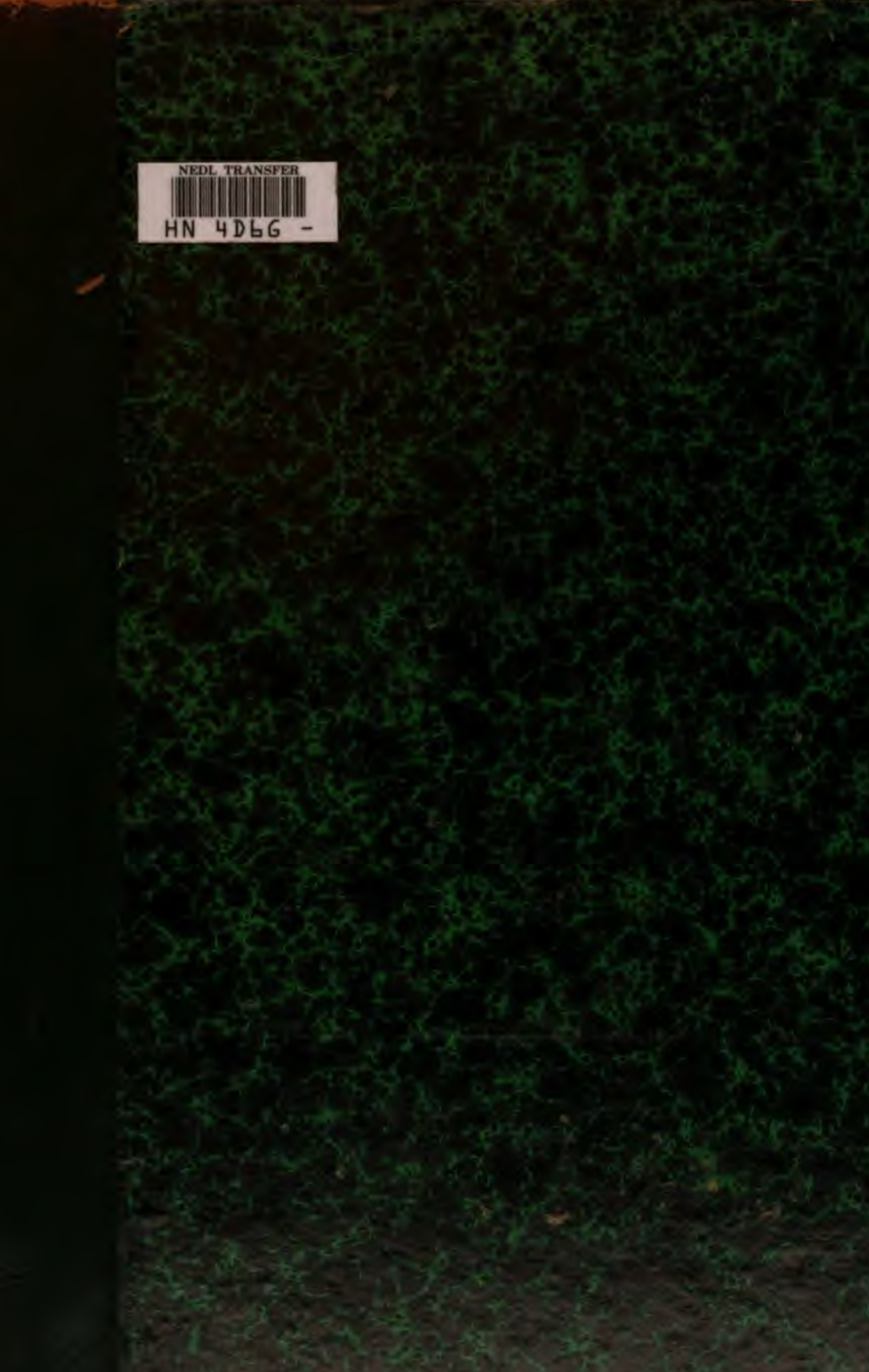
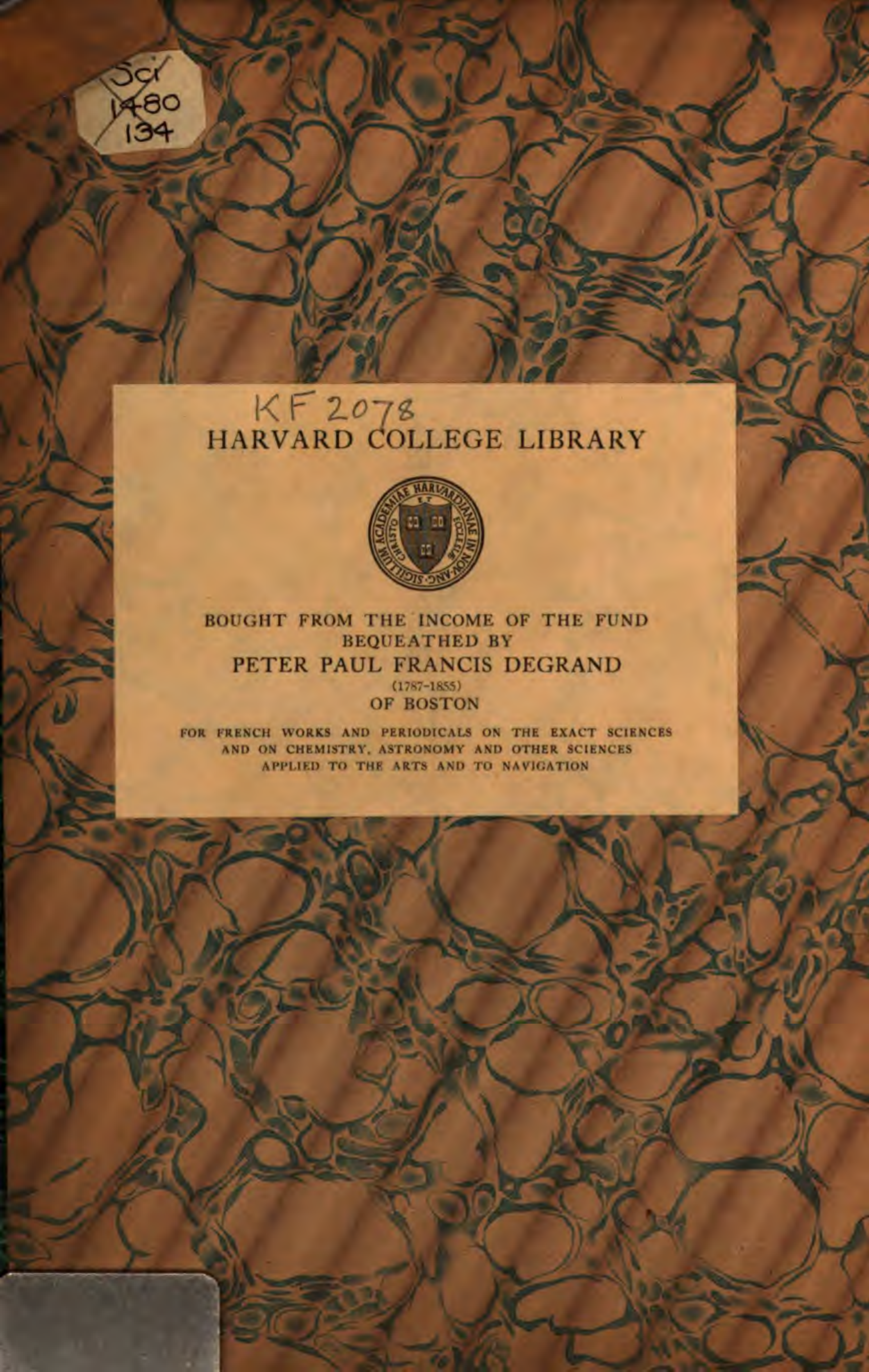




Sci 1480 134
KF 2078
HARVARD COLLEGE LIBRARY
BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON
FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les Discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le Bulletin.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1879

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

PARIS

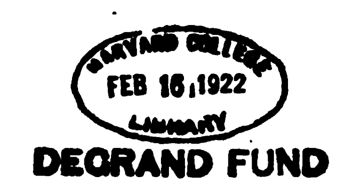
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

54, RUE DES SAINTS-PÈRES, 54

1879


HARVARD COLLEGE
FEB 16 1922
LIBRARY

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

1879

Membres du Bureau.

Président :

M. Farcot (Joseph) O. ✻, à Saint-Ouen (Seine).

Vice-Présidents :

MM. Gottschak, ✻ ✻ ✻ ✠ O. ✻, cité Rougemont, 10.
Bourdais (Jules), O. ✻, architecte, rue Laffitte, 51.
Mathieu (Henri) ✻, rue Las-Cases, 26.
Brüll (Achille), rue Saint-Lazare, 6.

Secrétaires :

MM. Mallet (Anatole), rue de La Rochefoucauld, 30.
Rey (Louis), O. ✻, rue d'Auteuil, 52.
Regnard ✻ (Paul), rue Béranger, 6.
Armengaud jeune, fils, boulevard de Strasbourg, 23.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✻ ✻ ✠ ✻, rue des Béguines, 4, à Crépy-en-Valois (Oise).

Membres du Comité.

MM. Demimuid (René), ✻, boulevard Saint-Michel, 9.
Périssé (Sylvain), rue Boursault, 59.
Chabrier (Ernest), O. ✻, avenue du Coq, 4.
Courras (Philippe) ✻, boulevard des Batignolles, 58.
Marché (Ernest) ✠, rue Blanche, 53.
Desgrange, ✻ C. ✠ ✻ ✻, boulevard Haussmann, 135.

MM. Degousée, ✻, rue de Chabrol, 35.
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 13.
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 17.
Eiffel (Gustave), ✻ C. ✠ ✻, rue Fouquet, 16, à Levallois-Perret (Seine).
Forquenot (Victor) O. ✻, boulevard Saint-Michel, 24.
Morandiere (Jules), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
Mayer (Ernest), ✻, rue Moncey, 9.
Vée (Léonce), rue de Rome, 61.
Arson (Alexandre), ✻, rue de Bourgogne, 10.
Flachat (Ivan), rue de Grenelle-Saint-Germain, 102.
Orsat (Louis), ✻ ✻, rue de la Victoire, 29.
Martin (Louis), ✻, boulevard Beaumarchais, 54.
Paul-Dubos, rue de Clichy, 67.
Chobrzynski (Jean-Pierre-Ch.), ✻ ✻, boulevard de Magenta, 137.

Anciens Présidents.

MM. Jordan (Samson) O. ✻, boulevard Malesherbes, 122.
Lavalley, O. ✻ ✠, rue Murillo, 18.
Love (Georges), ✻, au Vésinet (Seine-et-Oise).
Molinos (Léon) ✻, rue de Châteaudun, 2.
Mony (Stéphane), O. ✻, à Commentry (Allier).
Muller (Émile) O. ✻, rue des Martyrs, 19.
Richard (Jean-Louis) ✻, rue Billault, 31.
Salvetat (Alphonse) ✻ ✻ ✻, à Sèvres (Manufacture nationale).
Yvon-Villarceau, ✻ ✻ ✠, avenue de l'Observatoire, 18.

Présidents honoraires.

MM. Morin (le général), G. C. ✻ ✻ ✻ ✻, directeur du Conservatoire des Arts et métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Henri), O. ✻ ✠ ✻ ✻, sous-directeur du Conservatoire des Arts et métiers, rue Saint-Martin, 292.
Vuillemin (Louis), ✻ O. ✻ ✠ ✻, rue de Vigny, 1.

Membres honoraires.

MM. Dumas, G. C. ✻, membre de l'Institut, rue Saint-Dominique, 69.
Engerth (Guillaume) (le baron), C. ✻ ✻ ✠ ✻, conseiller aulique, sénateur, Directeur Général adjoint de la Société autrichienne Impériale et Royale des chemins de fer de l'État, à Vienne (Autriche).

MM. HAWKSHAW (sir John) (le chevalier), 33, Great-George-Street-Westminster, Londres (Angleterre).

REYMOND ROSSITER, W. C. E. Esq. President of the American Institute of Mining Engineers, 27, Park place (New-York).

ROBINSON (John), Esq. Atlas Works Manchester (Angleterre).

SELLA QUINTIUS (le commandeur), ingénieur en chef au corps des mines, député au Parlement, à Rome (Italie).

SCHMIDT (F.), Conseiller supérieur et Professeur de constructions, Président de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne (Autriche).

Membres sociétaires.

A

MM. ABOILARD (François-Auguste-Théodore), à Corbeil (Seine-et-Oise).

ACHARD (François-Ferdinand), rue de Provence, 60.

ADCOCK (François-Louis), Ookiep-Mines Namaqualand Cade Colony (voie anglaise).

ADHÉMAR (Léon-Philippe), attaché aux houillières de Commentry, rue Lavoisier, 22.

AGNÈS (Antony), C. ✻, à la Faïencerie de Choisy-le-Roi (Seine).

AGUDIO (Thomas), ✻, rue de l'Arsenal, 17, à Turin (Italie).

AIVAS (MICHEL), O. ✻ ✻, rue des Trois-Frères, 21, à Villemomble (Seine).

ALBARET (Auguste), O. ✻, constructeur de machines agricoles, à Liancourt (Oise).

ALBARET (Eugène), rue Legendre, 43 (Batignolles).

ALBARET (Henri-Eugène), place de l'Hôtel-de-Ville, 8, à Chambéry (Savoie).

ALBY (Joseph), ✻, chef de division de l'entretien du chemin de fer de la haute Italie, à Turin (Italie).

ALLAIRE (Octave), chimiste, rue des Frères-Herbert, 56, à Levallois.

ALLART (Achille), rue de la Pompe, 3.

ALQUIÉ (Auguste-François). ✻, rue de Maubeuge, 81.

ALVIM (Arthur), sous-ingénieur délégué du Gouvernement du Brésil, à Rio-de-Janeiro (Brésil) et rue Taitbout, 37.

ALZIARI DE MALAUSSÈNE (François), rue Garnieri, 10, à Nice (Alpes-Maritimes).

AMELINE (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.

ANCEAU (Georges-Louis), rue Saussure, 73.

ANDELLE (Jules-Georges), sous-directeur des verreries, à Épinac (Saône-et-Loire).

MM. ANDRÉ (Gaspard-Louis), boulevard Port-Royal, 91.

ANDRÉ (Charles-Henri), rue du Manége, 10, à Nancy (Meurthe).

ANDRÉ (Charles-Émile), arbitre près le Tribunal de commerce, 156, boulevard Magenta.

ANDRY, ✠, à Boussu, près Mons (Belgique).

ANGER (Charles-Henri), rue des Poissonniers, 78.

ANSALONI-AMILCAR (Jean-Antoine), ingénieur des Travaux de l'État, rue Saint-Désiré, 29, à Lons-le-Saunier (Jura).

ANSART (Ernest), ingénieur en chef des chemins de fer de la République de Costarica, à San Jose de Costarica.

ANTHONI (Charles-Gustave), ✪ constructeur de matériel pour la carrosserie, rue Fouquet, 38, à Levallois-Perret.

APPERT (Léon), ✠, produits vitrifiés, rue Boursault, 1.

AQUIN (D') (Thomas), directeur des forges de Moyeuvre (Alsace-Lorraine).

ARANA (de) (Manuel), 326, Geay Street, à San-Francisco (Californie).

ARBEL (Lucien), ✠, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).

ARBULU (de) (José-Maria), à Saint-Sébastien (Espagne).

ARGANGUES (D') (Paul-Eugène), ✠, rue de Dunkerque, 18.

ARMENGAUD aîné (Jacques-Eugène), ✠, rue Saint-Sébastien, 45.

ARMENGAUD aîné fils, (Charles-Eugène), rue Saint-Sébastien, 45.

ARMENGAUD (Charles), ✠, rue de Clichy, 52.

ARMENGAUD jeune fils (Jules-Alexis), boulevard de Strasbourg, 23.

ARNODIN (Ferdinand-Joseph), inspecteur de la Société générale des ponts à péages, à Châteauneuf-sur-Loire (Loiret).

ARNOLDI (Jules), avenue de Clichy, 176.

ARSAC (Marie-Joseph), aux Aciéries et Forges de Firminy (Loire).

ARSON (Alexandre), ✠, rue de Bourgogne, 40.

ARTUS (Jules), boulevard Beaumarchais, 20.

ARTUS (Charles-Alfred), boulevard Beaumarchais, 20.

ASSELIN (Eugène), chimiste, rue des Poissonniers, 17, à Saint-Denis.

ATKINS (Francis-Henri), 62, Fleet street Londres (Angleterre).

AUDEBERT (Jean-Henri), au Creusot (Saône-et-Loire).

AUDEMAR (Henri), à Dôle (Jura).

AUDENET (Camille), rue de Londres, 11.

AUDERUT (Francisque-Henri), ingénieur, chez MM. Petin et Gaudet, à Saint-Chamond (Loire).

AVRIL (Louis), chez M. de Gannes, à Bellevue par Meudon (Seine-et-Oise).

AYGALENQ (Louis), rue Daval, 3.

AYLMER (John), rue de Naples, 4.

B

MM. **Bachelu** (Louis), à Lyon (Rhône).
Badois (Edmond), rue Blanche, 12.
Baillet (Gustave), rue de Villiers, 22, aux Ternes.
Bancilhon (Émile), ingénieur aux mines de soufre de Riesi, Sicile (Italie).
Banderali, O. ✠, rue La Bruyère, 7.
Bandholtz (Frédéric), chef de section au chemin de fer du Midi, allées La Fayette, 22, à Toulouse (Haute-Garonne).
Bara, rue de Magenta, 17, à Pantin.
Barbaroux (Marie-Ferdinand-Auguste), rue Montrosier, 5, à Neuilly.
Barbe (Paul), maître de forges, rue Condorcet, 12.
Barberot (Félix), ✱, C. ✱, avenue de Clichy, 19, à Batignolles.
Barbier (Ernest), rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 9.
Baritault (de) (Achille-Pierre), Vico Florentini, Naples (Italie).
Barnes (Edmond), ✱, the Pentewan Railway and Harbour Company (limited), Engineers Office, Saint Austell, Cornwall (Angleterre).
Barnoya (Luis), ingénieur de la traction de Ferro-Carriles de Zaragoza à Pamplona, estacion de los caminos de hierro del norte, à Saragosse (Espagne).
Barrault (Émile), ingénieur conseil en matière de brevets d'invention, boulevard Saint-Martin, 17.
Barré (Frédéric-Henri), chef de section, service de la voie du chemin de fer du Nord, à la gare d'Amiens (Somme).
Barre (Raoul-Eugène), à la Monnaie, quai de Conti, 11.
Barros Barreto (de) (Manuel), ingénieur en chef du contrôle du chemin de fer de Récife à San Francisco, à Pernambuco (Brésil).
Barroux (Léon), ✱, à Troyes (Aube).
Barthélemy (Henry), architecte, quai Voltaire, 3.
Barthélémy (Charles-Eugène), Calle Tamento, 9, à Madrid (Espagne).
Bartissol (Edmond), C. ✠, directeur du chemin de fer de la Beira Alta, Plaça do Loreto, 1, à Lisbonne (Portugal).
Basiliades (Constantin), constructeur, à Pirée (Grèce).
Basset (André-Louis), avenue des Gobelins, 297.
Battaille Straatman (Jean), ✱ ✱ ✠, rue Dupont, 80, à Bruxelles (Belgique).
Battaille (Charles-Ernest), rue de Vienne, 21.
Battarel (Pierre-Ernest), rue de Cambrai, 3, à la Villette.

MM. Baudet (Louis-Constant-Émile), rue du Rocher, 64.

Baudson (Désiré-Auguste-Émile), chef de section au chemin de fe du Nord, à Béthisy-Saint-Pierre (Oise).

Baumal (Henri), ✻, rue de Londres, 51.

Bauquel (François-Auguste), à Cirey (Meurthe).

Bayvet (Gustave), boulevard Haussmann, 82.

Bazaine (Achille-Georges), ingénieur auxiliaire des travaux de l'État, rue des Sablons, 60.

Bazin (Auguste), directeur des établissements hydrauliques de Bellegarde (Ain).

Beau (Paul-Prudent), à Reichshoffen (Alsace).

Beau (Henri-Antoine), rue Saint-Denis, 226.

Beaucerf, ✻, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).

Beaumetz-Dujardin (François), rue Pigalle, 26.

Beaupré (Eugène), directeur des filatures de Frévent (Pas-de-Calais).

Béliard (Georges-Alfred), directeur de l'atelier de M. Decauville, à Petit-Bourg, par Évry (Seine-et-Oise).

Belin (Pierre-Ernest), rue Lemercier, 23, à Batignolles.

Belin (Auguste-Zacharie-Constant), engenheiro du estrada de Ferro de D. Pedro II, à Barbacena, province de Minas Geraès (Brésil).

Bell (Paul-René-Natalis), avenue Trudaine, 16.

Bellet (Henri-Nicolas), au chemin de fer du Nord belge, à Charleroi (Belgique).

Bellet (Jean-Baptiste-Adolphe), à Enghien-les-Bains, rue Malleville, 13 (Seine-et-Oise).

Belleville (Julien-François), ✻, constructeur, avenue Trudaine, 16.

Bellier (Adolphe), ✻ ✻, chef de la division centrale au chemin de fer du Midi, rue Laroche, 14, à Bordeaux (Gironde).

Belpaire (Alfred), ✠, ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).

Bénédic-Fribourg (Henri-Georges), rue Miroménil, 8.

Benoit (René), adjoint au bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

Benoit-Duportail (Armand-Camille), ✻, rue La Condamine, 100.

Bérard (Édouard-Jules), 29, faubourg Tarragnoz, à Besançon (Doubs).

Berendorf (Joseph), constructeur, avenue d'Italie, 75.

Berenger (Jean-Alexandre), inspecteur de la traction aux chemins de fer du Sud de l'Autriche, IV Theresianumgasse, 8, à Vienne (Autriche).

Berger (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Alsace).

Bergeron, rue de Penthièvre, 26.

Bernard (Auguste), ingénieur de la voie au chemin du fer du Nord, à Namur (Belgique).

MM. BERTHEAULT (William), directeur des forges de Montataire (Oise).
BERTHIER (Camille), fabricant de tuiles et briques, à La Ferté-Saint-Aubin (Loiret).
BERTHON (Louis-Alfred), 51, chaussée d'Antin.
BERTHOT (Pierre), rue de Passy, 63.
BERTON (Albert-Adrien), boulevard Péreire, 150.
BERTON (Théodore), rue St-Martin, 30, à Versailles (Seine-et-Oise).
BERTRAND (Alfred-Pierre-Joseph), filateur, à Cambrai (Nord).
BERTRAND (Gustave), rue Bonaparte, 82.
BÉTHOUART (Alfred-Auguste), à Chartres (Eure-et-Loir).
BEUDIN (Gustave), boulevard Haussmann, 155.
BÉVAN DE MASSY (Henri), C. ✱ C. ✠, rue d'Isly, 7.
BIANCHI, ✱ ✱, rue de Rennes, 154.
BIAREZ (Alfred-Louis-Paul), ingénieur en chef de la voie au chemin de fer de Saragosse à Pampelune, à Barcelone (Espagne).
BIDOU (Léon-Auguste-Clément), ✱, à Sienne (Italie).
BIGNAMI (Orlando), R. Principe Tommasse, 18, à Turin (Italie).
BILLIET (Constant-Émile), 13, Passage du Jeu de Boules.
BINOT DE VILLIERS (Georges-Charles), 57, rue Pigalle.
BINDER (Charles-Jules), boulevard Haussmann, 170.
BIPPERT, rue des Petites-Ecuries, 42.
BIRLÉ (Albert), rue de France, 15, à Nice (Alpes-Maritimes).
BIVER (Hector), ✱, rue du Cherche-Midi, 21.
BIVER (Pierre-Ernest-Dominique), rue de la Darse, 10, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
BIVER (Mathias-Alfred), à Saint-Gobain (Aisne).
BIXIO (Maurice), quai Voltaire, 17.
BLAKE (David), ✱, à Dieppe (Seine-Inférieure).
BLANCHE (Auguste), ✱, quai National, 3, à Puteaux.
BLANCHET (Augustin-Hector), à la papeterie de Rives (Isère).
BLANCO (Juan-Maria), plaza de San Francisco, 3, à San Lucar de Banameda (Espagne).
BLANLEUIL (Jean-Victor), entrepreneur de travaux publics, à Angoulême (Charente).
BLARD (Alexandre-Louis), rue de Rivoli, 226.
BLÉTRY (Alphonse-Edmond), office des Brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.
BLÉTRY (Constant-Pierre-Alexandre), office des Brevets d'invention, rue des Filles-du-Calvaire, 6.
BLEYNIE (Martial), avenue Lacuée, 28.
BLONAY (de) (Henri), ingénieur consultant, à Lausanne (Suisse).
BLONDEAU (Paul-François), avenue des Amandiers 10.
BLONDEL (Henri-Auguste-Adrien), rue de Provence, 48.
BLONDEL (Henry-Jean), ✱, architecte, quai de la Mégisserie, 14.
BLONDIN (Ferdinand), ✱ ✱, rue de Provence, 59.

MM. Blot (Léon), boulevard des Batignolles, 29.

Blot (Georges-René), rue de la Paix, 3.

Blythe (John), entreprise de préparation des bois, cours du Jardin-Public, 24, à Bordeaux (Gironde).

Bobin (Hippolyte), rue de la Victoire, 72.

Bocquet (Jules-Armand), boulevard de la Villette. 60.

Bocquin (Jules-Émile), palais Krasinski, à Varsovie (Russie).

Bodin (Paul-Joseph), avenue de Clichy, 176.

Boire (Émile), constructeur pour sucrerie et distillerie, quai de la Haute-Deule, 25 et 27, à Lille (Nord).

Boischevalier (Paul-Eugène), rue Montalivet, 10.

Boistel (Louis-Charles-Georges), représentant de la maison Siemens, rue Picot, 8.

Boivin (Émile), raffineur, rue de Flandre, 145, à la Villette.

Bolle (Jean-Gustave), fabricant de bougies et savons, à Dôle (Jura).

Bomches (Frédéric), via Belvedère, 180, à Trieste (Autriche).

Bonnard (de) (Gaëtan-Arthur), boulevard de Magenta, 109.

Bonnardel (Barthélemy-Antoine), aux forges de Montataire (Oise).

Bonnassies (Paul Bernard), ✠, représentant de la Compagnie des hauts fourneaux, forges et aciéries de la maison Pétin et Gaudet, rue des Pyramides, 20.

Bonnaterre (Joseph), rue Bourdaloue, 9.

Bonnefond (Charles) rue Nationale, 57, à Ivry-sur-Seine.

Bonnet (Désiré), constructeur de machines, à Toulouse (Haute-Garonne).

Bonnet (Édouard), O. ✠ ✱, parc de la Pièce d'Eau, 3, à Chatou (Seine-et-Oise).

Bonneville (Paul-Armand-Joseph), rue Albouy, 23.

Bonnin (René), agent voyer en chef, à Évreux (Eure).

Bontemps (Georges), rue de Lille, 11.

Bornèque (Pierre-Constant-Eugène), ✠, ingénieur, chez MM. Japy frères, à Beaucourt (Haut-Rhin).

Bossi (de) (Édouard), quai Pierre Fatio, 8, à Genève (Suisse).

Boudée (F.-Charles-Paul), ✠, secrétaire général de l'entreprise industrielle italienne de constructions métalliques, 27, S. Teresella degli Spagnuoli, à Naples (Italie).

Boucard (Alexandre-André), rue d'Antin, 14.

Boucheron (Henri-Marc-Louis-Gustave), quai d'Orsay, 99.

Bouchotte (Émile-Simon), rue des Acacias, à Royan (Charente-Inférieure).

Boudard (Casimir), inspecteur des fonderies et laminoirs de zinc de Dangu, ingénieur de la Compagnie Française d'éclairage et de chauffage par le gaz, ingénieur-conseil de la Société du gaz de Port-Saïd, rue La Fayette, 110.

Boudard (Félix-Arthur), rue de Lille, 19.

MM. Bougère (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).
Bouhey (Étienne), constructeur, avenue Daumesnil, 43.
Bouilhet (Henri-Charles), O. ✱, rue de Bondy, 56.
Bouissou (Amable-Louis), rue Montrosier, 7, à Neuilly.
Boulet (Jean-Baptiste), faubourg Poissonnière, 144.
Boulogne (Jules-Ernest), quai de la Seine, à Saint-Denis.
Bourcart (Henri), filateur, à Guebwiller (Haute-Alsace).
Bourdais (Jules), O. ✱, architecte, rue Laffitte, 51.
Bourdelas (Jules-Louis), chef de bureau aux Chemins de fer de l'État, services techniques de la direction, rue Rennequin, 60, aux Ternes.
Bourdil (François-Bernard), 13, boulevard Haussmann.
Bourdin (Gabriel-Jules-Amédée), métallurgiste, boulevard Bineau, 21.
Bourdin (Raphaël-Charles), à Nantes (Loire-Inférieure).
Bourdon (Eugène), ✱, constructeur-mécanicien, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourdon (Édouard-François), constructeur-mécanicien, Faubourg-du-Temple, 74.
Bourdon (Alexandre-Charles), constructeur, boulevard Voltaire, 87.
Bourgougnon (Étienne), rue de la Victoire, 43.
Bourgougnon (René), rue Lemercier, 44, aux Batignolles.
Bourry (Émile-Charles), 80, rue Taitbout.
Bourset (Louis-Désiré), architecte, à Cirey-le-Château (Haute-Marne).
Boutmy (Gabriel-François), ✱, boulevard Mazas, 20.
Bouvard (Paul-Marie), ✱, au Creusot (Saône-et-Loire).
Bouvet (Auguste-Hippolyte), rue Fontaine-au-Roi, 17.
Brabant (Georges-Édouard), à Morenchies, par Cambrai (Nord).
Bracquemont (de) (Adrien), ✱, boulevard Malesherbes, 19.
Bramwell (Frédéric-Joseph), 37, Great George street Westminster, à Londres (Angleterre).
Branville (de) (Paul), rue Jacques-Cœur, 29.
Brauer (François-Charles), à Graffenstaden (Alsace).
Brault (Alexandre), ✱, rue de Bonneval, à Chartres (Eure-et-Loir).
Brault (François), constructeur, à Chartres (Eure-et-Loir).
Bréguet, O. ✱, horloger, quai de l'Horloge, 39.
Bréguet fils (Antoine), 5, rue de Savoie.
Brémond (Joseph-Alexandre-Lucien), directeur de la Compagnie Madrilène du gaz, 2, Rondo de Toledo, à Madrid (Espagne).
Breton (Étienne), chef de section à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, à Bar-sur-Aube (Aube).
Bricogne (Charles), ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 33.
Bridel (Gustave), directeur de la correction des eaux, à Bienne (Suisse).

MM. **Brisse** (Alexandre-Fulbert-Xavier), à Avezzano (Italie).
Brivet (Henri), produits chimiques, avenue Péreire, 70, à Asnières.
Broad (Édouard-John), 6, Queen Street Place, à Londres (Angleterre).
Brocchi (Astère), directeur de la maison Périn, fabricant de scies, avenue d'Ivry, 19.
Brodard (Marie-Anatole-Octave), rue du Bac, 94.
Bronne (Joseph), papetier, rue Joubert, 29.
Bronne (Louis), industriel, rue Grétry, 28, à Liége (Belgique).
Brossard (Louis-Henri-Maurice), inspecteur du matériel fixe au chemin de fer de Lyon, rue Cochin, 5.
Bruère, à Signy-le-Petit (Ardennes).
Bruignac (**Duroy de**) (Albert), rue Saint-Antoine, 9, à Versailles (Seine-et-Oise).
Brüll (Achille), rue Saint-Lazare, 6.
Brunon (Barthélemy), constructeur, à Rive-de-Gier (Loire).
Brustlein (H.-Aimé), à Unieux (Loire).
Buchetti (Jacques-Antoine), boulevard Voltaire, 20.
Buddicom, ✻, Penbedw-Mold flinstshire (Angleterre).
Bullot (Edmond), rue de la Gare, 12, à Saint-Denis.
Bunel (Henri), architecte, rue du Conservatoire, 13.
Buquet (Hippolyte-Amédée), gérant de la *Revue industrielle*, boulevard des Batignolles, 13.
Bureau, rue de Moscou, 29.
Buron (Oscar-Gabriel), ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, rue de Vaugirard, 48.
Busschop (Émile), à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise).

C

MM. **Cabanes** (Félix), rue Leconte, 1, aux Batignolles.
Cabany (Armand), constructeur, à Malines (Belgique).
Cachelièvre (Charles-Paul-Émile), C. ✻, Meson de Paredes, 10, à Madrid (Espagne).
Cacheux (Emile-François-Joseph), quai Saint-Michel, 25.
Cadiat (Ernest), rue Meslay, 24.
Caen (Léon), avenue de Paris, 74, à Saint-Denis (Seine).
Cail (Émile), avenue de l'Empereur, 121.
Cahen (Albert), boulevard Saint-Denis, 1.
Cahen-Strauss (Lucien) 83, rue de Rambuteau.
Caillé (Jules-Charles), inspecteur du matériel fixe au chemin de fer d'Orléans, rue Guy de La Brosse, 11.

MM. Caillot-Pinart, ✱, rue du Faubourg-Saint-Martin, 167.
Caisso (Marin), ingénieur des ateliers du chemin de fer de l'Ouest, rue Jouffroy, 1, Batignolles.
Calabre (Sébastien), rue Affre, 3.
Caldaya (Charles-Antony), ingénieur des hauts fourneaux de la Société métallurgique, à Tarascon (Ariège).
Calla père (Christophe), ✱, rue des Marronniers, 8, à Passy.
Calleja (Henri), à la Ciudad-Real (Espagne).
Capdevielle, rue de la Gare, 2, à Saint-Denis.
Capelle (Eugène-Gustave), rue Lesueur, 70, au Havre (Seine-Inférieure).
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Carcuac (Armand-Jean-Antoine), à Aubin (Aveyron).
Carié (Paul-Raymond-Léopold), rue des Martyrs, 41.
Carette (Louis), rue du Chemin-Vert, 42.
Carré (Ferdinand-Philippe-Édouard), à la Nozaie, près Nemours (Seine-et-Marne).
Carez (Ernest-Eugène), ✱, rue de Stassart, 101, à Bruxelles (Belgique).
Carimantrand (Jules), rue de Constantinople, 14.
Carpentier (Léon), rue de Fleurus, 37.
Carpentier (Jules-Adrien), ingénieur aux chemins de fer P.-L.-M., boulevard Saint-Michel, 79.
Carron (Pierre-Joseph-Charles), rue Très-Cloîtres, 21, à Grenoble (Isère).
Cartier (Émile), fabricant de sucre, à Nassandres (Eure).
Cassagnes (Gilbert-Alfred), directeur des *Annales industrielles*, rue La Fayette, 18.
Casalonga (Dominique-Antoine), rue des Halles, 15.
Castel (Émile), ✱ O. ✠, rue de Dunkerque, 20.
Cauvet (Alcide), ✱, rue Neuve-des-Mathurins, 23.
Cazalis de Fondouce (Paul), ✱ ✠ ✱, propriétaire agricole, rue des Étuves, 18, à Montpellier (Hérault).
Cazes (Edwards-Adrien), quai de Bourgogne, 37, à Bordeaux (Gironde).
Cernuschi, avenue Velasquez, 7, via San-Maurilio, 13, à Milan (Italie).
Chabrier (Ernest), O. ✱, rue Saint-Lazare, 89 (avenue du Coq, 4).
Chalain (Prosper-Édouard), rue du Faubourg-Saint-Martin, 167.
Chaligny (Gabriel-Joseph), ✱ ✠, rue Philippe-de-Girard, 54.
Chalmeton, aux forges d'Aubin (Aveyron).
Championnière, à Montlignon (Seine-et-Oise).
Champouillon, ✱, avenue Gourgaud, 18.
Chancerel (Charles-Antoine), rue Béranger, 21.
Chanoit (François), à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise).

MM. **Chansselle** (Jules-Vincent)', ingénieur principal de la Société houillère de Saint-Étienne (Loire).

Chapman (Henri), ✱, rue Louis-le-Grand, 11, et 113, Victoria street Westminster S. W., London.

Chapron (Laurence-Louis-Achille), architecte, ingénieur chef directeur des études et travaux du grand Môle du gouvernement à Valparaiso (Chili).

Charbonnier (Amédée-Pierre), au Creuzot (Saône-et-Loire).

Chardon (Eugène-Frédéric), avenue Trudaine, 11.

Charlier (Timothée), ✠ ✱, ancien directeur des chemins de fer de Roumanie et inspecteur général des ponts et chaussées de Roumanie, à la Villa Ouchy, à Lausanne (Suisse).

Charlon (Claude-Émile), ingénieur-directeur des Mines de Saint-Jean-du-Gard (Gard).

Charpentier (Joseph-Ferdinand), boulevard de Strasbourg, 75.

Charpentier (Paul-Ferdinand), métallurgiste, rue Lafayette, 58.

Charton (Jules-Jean), ✱ ✱, ingénieur de la construction aux chemins de fer du Midi, boulevard Haussmann, 54.

Chatard (Alfred), rue de de Berlin, 40.

Chateau (Théodore-Jean-Marie), chimiste, rue Saint-Denis, 12, à Aubervilliers (Seine).

Chauveau des Roches (Arthur), ✱ O. ✱, à Masseuil-Quinçay, par Vouillé (Vienne).

Chauveau (Jules-Édouard), directeur des fonderies de Torteron (Cher).

Chauvel (Émile), ✱, à Navarre, par Évreux (Eure).

Chavannes (Émile-Frédéric), rue de Vauban, 3, à Lyon (Rhône).

Chéron (Charles-Louis), régisseur de l'usine à gaz de Boulogne-sur-Seine, route de Versailles, 196 (Seine).

Chevalier (Émile), constructeur, quai de Grenelle, 61.

Chevrier (P.-Marcel-Louis-Marie), gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.

Chobrzynski (Jean-Pierre-Charles), ✱ ✱, boulevard Magenta, 137.

Cholet (Lucien-Alfred), ingénieur du matériel fixe des chemins de fer de l'État, rue Saint-Paul, 18.

Chopin (Nicolas-Philippe), régisseur du chemin de fer de Bordeaux à la Sauve, quai Deschamps, 58, La Bastide, à Bordeaux (Gironde).

Chopitéa (de) (Charles), à Barcelone (Espagne).

Chrétien (Jean), rue de Monceau, 87.

Chuwab (Charles), rue Lafontaine, 70.

Ckiandi (Alexandre-Henri), chimiste, rue des Templiers, 25, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Clair (Alexandre), C. ✠ O. ✱, rue Duroc, 5.

Claparède (Frédéric-Moyse), ✱ quai de Seine, à Saint-Denis (Seine).

MM. Claparède fils (Frédéric), quai de Seine, à Saint-Denis (Seine).
Claret (Joaquim), ingénieur de la Compagnie Madrilène à Madrid (Espagne).
Claudel (Charles), à la Südbhannhof, à Vienne (Autriche).
Clausel de Coussergues (Isidore), rue de Madrid, 15.
Clémandot (Louis), ✠, 18, rue Brochant, aux Batignolles.
Clémencin (Perfecto Maria), ingénieur des mines, à l'École des mines, à Madrid (Espagne).
Clément-Desormes, quai Castellane, 20, à Lyon (Rhône).
Clerfayt (Adolphe), rue Feronstrée, 27, à Liége (Belgique).
Clervaux (de) (Paul), sous-directeur des aciéries de Firminy (Loire).
Closson (Prosper), avenue Trudaine, 29.
Cochot (George-Henri), constructeur, avenue Lacuée, 36.
Cohendet (Victor-Hippolyte), constructeur, avenue de Suffren, 40.
Coignet (Alphonse), ingénieur de la maison Coignet père et fils, 3, rue Rabelais, à Lyon.
Coignet (François), rue La Fayette, 130.
Coignet (Jean), boulevard Denain, 4.
Colladon, ✠, boulevard du Pin, 1, à Genève (Suisse).
Colle (Simon), à Mornay, par Allier (Cher).
Collet (Charles-Henri), rue d'Astorg, 4 *bis*.
Collin (Émile-Charles), administrateur délégué de la Société des mines d'Écombrera (Espagne), rue Taitbout, 64.
Colson (Paul), ✠, Sierra Almagrera, par Murcia (Espagne).
Comolli (Louis-Antoine), consulat d'Italie, à Rio-de-Janeiro (Brésil).
Comte (Charles-Adolphe), rue de Provence, 48.
Conchon (Eugène-Gabriel), architecte, rue de Monsieur, 19.
Contamin (Victor), 11, avenue Gourgaud.
Coquerel (Paul), rue Clapeyron, 25.
Cormier (Paul-Alexandre), rue Montaigne, 15.
Cornaille (Alfred), à Cambrai (Nord).
Cornesse (François), chef du service des Forges au Creuzot (Saône-et-Loire).
Cornier (Victor), ingénieur à l'usine du Ciment-Vicat, à Vif (Isère).
Cornuault (Émile-Léon-Félix), métallurgiste, rue Louis-le-Grand, 6.
Corpet (Lucien), constructeur-mécanicien, avenue Philippe-Auguste, 117 et 119.
Cosnard (Ernest), rue de Latour, 47, à Passy.
Cossigny (de) (Jules-François), à Courcelles, commune de Cléry, par Saint-Parres-lez-Vandes (Aube).
Coste (Antoine-Guillaume), rue du Bac, 144.
Cosyns, à Mons (Belgique).
Cotard (Charles), ✠, rue de Gramont, 17.

MM. Cottrau (Alfred-Henri-Joseph), C. ✻, C. ✻ ✻, administrateur délégué des chemins de fer de la Sicile occidentale, Villino Cottrau, à Pausilippe, Naples (Italie).

Couard (Joseph-Félix), inspecteur principal de la voie des chemins de fer de Lyon, avenue Lacuée, 50.

Couderc (André-Jean-B.-Augustin-Marie), maison Mary Lafren, rue Saint-Georges, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

Coulanghon (François-Marie), rue de Vauban, 2, à Lille (Nord).

Coullaut (Alfred-Louis-Joseph), ✻, à Marchena, Andalousie (Espagne).

Couriot (Charles-Henri-Gustave), secrétaire du Conseil d'administration de la Société des mines de la Loire, rue de Richelieu, 85.

Cournerie (Amédée-Barthélemy), ✻, rue de la Saline, 1, à Cherbourg (Manche).

Cournerie (Jean-Baptiste-Eugène-Georges), rue Hélain, 85, à Cherbourg (Manche).

Courras (Philippe), ✻, boulevard des Batignolles, 58.

Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 31.

Courtès-Lapeyrat (Georges-Clément), rue du Bac, 90.

Courtier (Louis), rue de Dunkerque, 43.

Courtin (Amédée-Augustin), chef d'atelier du chemin de fer du Nord, rue de Passy, 97, à la Chapelle.

Courtines (Jacques), ✻, avenue du Chemin-de-Fer, à Rueil (Seine-et-Oise).

Courtois (Antoine-Hippolyte), rue Choron, 8.

Courtois (Marie-Émile), ✻, ingénieur de la Compagnie des Forges et Fonderies de Terre-Noire-Voulte et Bességes, rue Sainte-Hélène, 8, à Lyon (Rhône).

Cousté (E.), ✻, directeur de la manufacture des Tabacs, rue Saint-Honoré, 372.

Couturaud (Lucien-Eugène), quai du Pont-Neuf, 6, à Abbeville (Somme).

Couture (Jules), directeur de l'exploitation des gaz et hauts fourneaux, rue Montgrand, 39, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Crampton, Victoria-Street, ✻, 4, Westminster S. W., Londres.

Créase (John), major d'artillerie, Eastney Barrach, Portsmouth (États-Unis).

Crepin (Christian), fabricant de sucre, à Saulty, par Larbret (Pas-de-Calais).

Crespin (Auguste), boulevard de Clichy, 14.

Crespin (Arthur-Auguste), avenue Parmentier, 23.

Crétin (Gabriel), ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 237.

Criner (Georges), rue de la Victoire, 86.

Crouan (Henry-Marie-Léon), rue Blanche, 71.

MM. CROZET (Émile), à Valcherie, près le Chambon-Feugerolles (Loire).
CROZET (J.-C.), à Valcherie, près le Chambon-Feugerolles (Loire).
CUCHETET (Charles-Eugène), rue Halévy, 5.
CUINAT (Charles), rue de Naples, 52.
CZYSZKOWSKI (Stephen), boulevard Malesherbes, 134.

D

MM. DABURON (Henri-Charles), ingénieur aux mines de Vicoigne, à Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais).
DA COSTA (Arin), rue Legendre, 4.
DAGAIL (Louis), à Royan (Charente-Inférieure).
DAGUERRE D'OSPITAL (Léon), calle de Prado, 20, Madrid (Espagne).
DAGUIN (Ernest), O. ✻, rue Castellane, 4.
DAILLY (Gaspard-Adolphe), O. ✻, maître de la poste aux chevaux, rue Pigalle, 67.
DAIX (Victor), ✻, rue Cail, 25.
DALLEMAGNE (Jules-Joseph-Jacques), place Wagram, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).
DALLEMAGNE (Émile), directeur des charbonnages de Sclessin-Tilleur, près Liége (Belgique).
DALLEMAGNE (Jules), directeur des ateliers de la Société de Sclessin, près Liége (Belgique).
DALLOT (Auguste), ✻, rue de Douai, 17.
DAMBRICOURT (Auguste), à Vezrnes, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
DAMOIZEAU (Victor-Jules), boulevard de la Contrescarpe, 36.
DANVERS (Henry), rue Taitbout, 16.
DARBLAY (Paul), à Corbeil (Seine-et-Oise).
DARET-DERVILLE (Ch.-Am.), chef du bureau central du matériel et de la traction aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, calle Santiago, 59, à Valladolid (Espagne).
DARGENT (Jean-Erasme-Florimond), ✻ ✻, gare de San Bernardo, à Séville (Espagne).
DAVELUY (Marie-Alfred-Alphonse), inspecteur principal aux chemins de fer P.-L.-M., rue Saint-Antoine, 207.
DAVID (Pierre), ✻, Ingénieur de l'Exploitation aux chemins de fer du Midi, 341, boulevard de Talence, à Bordeaux (Gironde).
DEBAR (Auguste), directeur des ateliers de Fécamp (Seine-Inférieure).
DEBARLE (Louis), rue de l'Ourcq, 33, à la Villette.
DEBIÉ (Jules), quai des Grands-Augustins, 53.

MM. Deby (Julien-Marie), 3, Lombard-Street-London, E. C. (Angleterre).

Decauville (Paul), ✻, directeur de Petit-Bourg (Seine-et-Oise).

Decaux (Charles-Auguste), ✻, rue Notre-Dame-des-Champs, 107.

Decescaud (Jean-Daniel), rue d'Austerlitz, à Angoulême (Charente).

De Coene (Jules), ✻, boulevard Jeanne-d'Arc, 21, à Rouen (Seine-Inférieure).

De Comberousse (Charles), professeur à l'École Centrale, rue Blanche, 45.

Decoudun (Jules), constructeur mécanicien, rue de Montreuil, 77.

Deffosse (Étienne-Alphonse), ✻, ingénieur de la construction au chemin de fer de Lyon, 10, Cours du Midi, à Lyon (Rhône).

Degousée (Edmond), ✻, rue de Chabrol, 35.

D'Eichthal (Georges), directeur des forges et hauts fourneaux de Buglose, rue Châteaudun, 53.

Dejry Jeanny, rue de la Perle, 18.

Delage (Pierre-Joseph), boulevard Beaumarchais, 90.

Delanney (Hippolyte), O. ✻, agent voyer en chef, au Mans (Sarthe).

Delannoy (François-Albert), ✻ C. ✻ ✠, rue de Paris, 106, à Charenton-le-Pont (Seine).

Delano (William-Henri), quai Valmy, 117.

Delamarre (George-Théodore), inspecteur de l'exploitation au chemin de fer du Nord, gare de Saint-Just-en-Chaussée (Oise).

Delapchier (Victor-Jean), associé de la fabrique de bougies du Diamant, route des Poissonniers, à Saint-Denis.

Delaperrière (Marie-Antoine), ingénieur de la construction de la Compagnie du Croisic, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

Delaporte (Georges-Armand-Gustave) ✻, chimiste, rue des Bourdonnais, 37.

Delaporte (Charles-Antoine), filateur, à Maromme (Seine-Inférieure).

Delaporte (Georges), à Lillers (Pas-de-Calais).

Delaroyère (Ernest-Joseph), à la sucrerie et raffinerie de Somain (Nord).

Delaunay (Jules-Henri), ✻ ✠, chef de section au chemin de fer d'Angoulême à Marmande, à Bergerac (Dordogne).

Delaunay (Louis-Marie-Gabriel), ✻, rue du Port, 9, à Saint-Denis.

Delebecque, ✻, rue de Douai, 6.

Delerm (Jules-François), rue des Forges, 14, à Angers (Maine-et-Loire).

Delettrez (Eugène-Géry), rue Taitbout, 29.

Deleury (Stanislas-Alexandre-Jules), directeur de l'usine à gaz, rue de Clagny, 12, à Versailles (Seine-et-Oise).

MM. Deligny (Ernest), O. ✱ ✱, rue François Ier, 18.

Delille (Armand-Isaac-François), usine Bouchacourt, à Fourchambault (Nièvre).

Delinières (Élie), fabricant de tubes en fer, à Montluçon (Allier).

Delmas (Fernand), faubourg Poissonnière, 110.

Delom (Florentin), rue Ramey, 49.

Delporte (Hugues), ingénieur, chef de division à la Compagnie des Dombes, à Bellegarde (Ain).

Delsa (Hubert), ✱, constructeur, rue de la Limite, 18, à Liége (Belgique).

Demanest (Edmond), rue d'Amsterdam, 59.

Demans (Benoît-François-Noël), au Chambon-Feugerolles (Loire).

Demeule (Gustave), ✱, rue de Paris-et-Henry, à Elbeuf (Seine-Inférieure).

Demimuid (René), ✱, architecte, boulevard Saint-Michel, 9.

Denfer (Jules-François-Maxime), architecte, rue de la Santé, 9.

Deniel (Sébastien), ✱ ✱, rue Duguay-Trouin, 2, à Brest (Finistère).

Denis (Gustave), à Fontaine-Daniel, près Mayenne (Mayenne).

Denis (Ernest), rue de Verneuil, 22.

Denis de Lagarde (Ludovic-Eugène), C. ✱, Puerta del Sol, 13, à Madrid (Espagne).

Denise (Lucien), ✱, architecte, passage Violet, 12.

Denize (François-Auguste), ingénieur de la fonderie de Fourchambault, à Fourchambault (Nièvre).

Denoyelle (Jean-Baptiste-Théophile-Léon), rue de Constantinople, 24.

Depérais (Charles), ✱, Société générale des Aluns, à Civita-Vecchia (Italie).

Deprez (Marcel), rue Cassini, 16.

Derennes (Jean-Baptiste-Ernest), rue du Bocage, 7, dans l'île Saint-Denis.

Deroualle (Victor), avenue de Launay, 14, à Nantes (Loire-Inférieure).

Dervaux (Ernest), fabricant de ferrures à Vieux-Condé (Nord).

Desbrière, ✱, C. ✱ O. ✱ ✱, rue de Provence, 56.

De Schryver (Isidore), à Hautmont (Nord).

Desforge (Louis-Alphonse), chef de section au chemin de fer de l'Est, rue Jaillaux-Deschainets, 4, à Troyes, (Aube).

Desforges (Joseph-Abel-Marie), rue des Francs-Bourgeois, 54.

Desgrange (Hubert), ✱, C. ✱ ✱ ✱, boulevard Haussmann, 135.

Desjardins (Jean-Marc-Édouard), rue d'Aubervilliers, 134.

Desmaret (Paul-Louis), boulevard Saint-Michel, 97.

Desmasures (Camille), O. ✱, boulevard Haussmann, 64.

Desmousseaux de Givré (Émilien), ✱, rue de Lille, 79.

MM. DESNOS (Charles), ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention, boulevard Magenta, 11.

DESNOYERS (Alfred), maître de forges, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 36.

DESPRÉS (Alphonse-Victor-Guillaume), rue des Dames, 21.

DESPRET (Édouard), ✱, ingénieur en chef, directeur des voies et travaux du chemin de fer Grand-Central Belge, rue de Trèves, 11, à Bruxelles (Belgique).

DETRAUX (Benjamin), rue Baudin, 26.

DEVAUREIX (Michel-Jules), rue des Poissonniers, 11, à Saint-Denis.

DEVILLE (Anatole), rue de Lyon, 43.

DEVILLIERS (Émile-Joseph), boulevard de Latour-Maubourg, 54.

DEZ-SICARD (Jules), à Cannes (Alpes-Maritimes).

D'HUBERT (Joseph-Adolphe-Constant), directeur de la Compagnie Lesage, rue de Richelieu, 110.

DIARD (Henri-Pierre-Alfred), à Amboise (Indre-et-Loire).

DIDIERJEAN (Eugène), ✱, à Saint-Louis (Lorraine).

DIETZ (David), ✱, O. ✠, rue Blanche, 27.

DOAT (Henri), directeur de la Compagnie des Eaux, rue Pagès, à Suresnes (Seine).

DOLABARATZ (Louis-Alfred), directeur du Crédit foncier colonial, à Saint-Denis (île de la Réunion).

DOLLOT (Émile-Victor-Emmanuel), entrepreneur des travaux publics, à Celles-sur-Aisne, par Vailly (Aisne).

DONNAY (Charles), constructeur, rue de l'Atlas, 23.

DONON (Alfred-Adrien), rue d'Argenson, 3.

DORION (Joseph-Charles-Marie), directeur des mines de Bouquies, à Decazeville (Aveyron).

DORNÈS (Auguste-Charles-Joseph), ✱, ingénieur du chemin de fer de Vitré, à Fougères (Ille-et-Vilaine).

DOUAU (Maximilien-Jean-Bernard), faubourg Saint-Denis, 222.

DOURY (Paul), rue de Compiègne, 2.

DROUIN (Alexis), rue Beaubourg, 33.

DRU (Léon-Victor-Edmond), rue Rochechouart, 69.

DRUGMAND (Désiré), rue de la Montagne-aux-Herbes-Potagères, 10, à Bruxelles (Belgique).

DUBOIS (Eugène-Auguste), rue de l'Escaut, à Anzin, près Valenciennes (Nord).

DUBOIS (Guillaume), ✱, directeur-gérant de la Société des charbonnages de Marihaye, près Seraing, à Flemalle-Grand (Belgique).

DUBOIS (Théophile-Marie-Auguste), rue Bonaparte, 86.

DUBOIS (Jules), constructeur à Anzin (Nord).

DUBOIS (François-Léon), rue Lafayette, 48.

DUBUC (Michel-Maximilien), constructeur-mécanicien, rue de Turbigo, 68.

MM. Dufay (Eugène-Isidore), administrateur délégué de la sucrerie de Lieusaint, gérant de la sucrerie de Chevry-Cossigny (Seine-et-Marne).

Dufaure (Gabriel), boulevard de la Madeleine, 17.

Dufournel (Alphonse-Théodore), ✱, à Gray (Haute-Saône).

Dufrené (Hector-Auguste), agence des brevets, rue de la Fidélité, 10.

Dugourd, rue de la Ferme-des-Mathurins, 25.

Dujour (Nicolas-Alexis), inspecteur principal, chef du bureau des études du matériel fixe au chemin de fer de P.-L.-M., avenue Daumesnil, 16.

Duluc (Pierre-Auguste-Marie-Albert), rue de Paris, 36, à Épinay-sur-Seine (Seine).

Dumont (Marie-Georges), ✪, inspecteur du mouvement au chemin de fer de l'Est, rue du Faubourg-Saint-Denis, 187.

Dumont (Henri), 14, rue de Visconde de Juhruma, à Rio-Janeiro (Brésil).

Dumont (Louis-François), rue Sedaine, 55.

Duparc (Georges), fabricant de briques, à Sarcelles (Seine-et-Oise).

Dupont (Albert), rue Duperré, 19.

Dupuis (Edmond-Louis), rue de la Pompe, 4, à Passy.

Dupuy (Léopold-Philibert), rue de Flandre, 108.

Durant (Léon-Alexandre-Émile), ✱, sous-ingénieur, chef du bureau des études du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, rue Linné, 13.

Durassier (Léon-Gabriel-Alexandre), avenue de Wagram, 24.

Durenne, ✱, constructeur, quai Napoléon, 29, à Courbevoie.

Durenne (Antoine), O. ✱, maître de forges, rue de la Verrerie, 30

Durenne (Albert), à Courbevoie (Seine).

Durocher (Constant), à Coulommiers (Seine-et-Marne).

Durœux (Adolphe-Auguste), boulevard Magenta, 48.

Du Roy de Blicquy (Arthur), ✱, ingénieur en chef de la Société métallurgique et charbonnière belge, place de Louvain, 1, à Bruxelles (Belgique).

Durupt (Jules-Hippolyte-Victor), rue de Sèvres, 155.

Durval (Maurice-Charles), à Piombino, près Massa Maritima (Italie).

Duteil (Paul-Marie), sous-inspecteur au matériel au chemin de fer de l'Est, à Villiers-sur-Marne (Seine-et-Oise).

Duthu (Paul-Louis), ingénieur des hauts fourneaux de MM. Holtzer, Dorian et Cie, à Ria (Pyrénées-Orientales).

Duval (Raoul), rue François-Ier, 53.

Duval (Nicolas), rue Neuve-Popincourt, 8.

E

MM. Eassie (William), 11, Argyll-Street, W., Londres (Angleterre).
Eiffel (Gustave), ✱, C. ✱ ✠, rue Fouquet, 46, à Levallois (Seine).
Ellicott (Henri-Temple), ✱ rue Castiglione, 14, Paris; et à Porto (Portugal).
Ellis (Théodore), Hartford Connecticut, États-Unis (Amérique).
Ellissen (Albert), ✱ ✠ ✱, rue Abbatucci, 21.
Elmering (Adolphe), rue de la Ferme, à Rouen (Seine-Inférieure).
Elwell père, ✱, à Rosny-sur-Seine (Seine-et-Oise).
Elwell (Thomas), constructeur, avenue Trudaine, 26.
Emonin (Henri), rue de Bondy, 72.
Engelmann, rue Bellocq, 10, à Pau (Basses-Pyrénées).
Epstein (Jules-Eugène), rue de Trèves, 8, à Bruxelles (Belgique).
Ermel (Frédéric), ✱ ✱ ✠, cité des Fleurs, 54, aux Batignolles.
Escalle (Pierre), ingénieur aux usines de Tamarès (Gard).
Escande (Antoine-Marie), entrepreneur de constructions en fer, rue de Vaugirard, 177.
Estève (Jean-Albert), chef de service au chemin de fer du Nord, à Lille (Nord).
Estoublon (Henry), chez M. Bouilliant, fondeur, rue Oberkampf, 62.
Étienne (Antoine), ✱, rue Baudin, 21.
Étienne (Edgard-Jean-Baptiste), à Virouin, par Évron (Mayenne).
Euverte (Jules), ✱, directeur des usines, à Terre-Noire (Loire).
Évrard (Alfred), directeur de la Compagnie des houillères de Ferfay-Auchel, près Lillers (Pas-de-Calais).
Évrard (Maximilien), ✱, à Saint-Étienne (Loire).

F

MM. Fabre (Émile-Jean-Jacques-Ernest), rue Blanche, 79.
Falguerolles (Eugène), ingénieur, chef du matériel et de la traction des chemins de fer des Charentes à Saintes (Charente-Inférieure).
Faliès (Jacques-Alfred), ✱, avenue de Paris, 24, au Mans (Sarthe).
Farcot (Joseph), O. ✱, constructeur, à Saint-Ouen (Seine).

MM. FARCOT (Emmanuel), avenue de Catinat, 1, à St-Gratien (S.-et-Oise).
FARCOT (Abel), constructeur, rue Nicolo, 22, à Passy.
FARCOT (Paul), Ingénieur à l'usine Joseph Farcot, avenue de la Gare, 15, à Saint-Ouen (Seine).
FARGUE (Léon), rue du Faubourg-Poissonnière, 113.
FAURE-BEAULIEU, filateur de laine, avenue Lebel, 8, à Vincennes.
FAVERGER (Théodore), rue de Maubeuge, 77.
FAYOL (Henri), ingénieur principal des houillères, à Commentry (Allier).
FAYOLLET (Jules-Guillaume), rue de Provence, 3.
FEBVRE (Armand), rue de Ponthieu, 23.
FEER (Daniel-Paul), rue de Pascale, 35, à Bruxelles (Belgique).
FELLOT (Jean), rue de Moscou, 46.
FERNEX (de), rue de la Butte-Chaumont, 77.
FERNIQUE (Albert), ✱, chef des travaux graphiques à l'École centrale, rue de Fleurus, 31.
FÉROT, ✱, rue d'Aumale, 14.
FÈVRE (Léon-Jean-Baptiste), rue de la Tour, 117, à Passy.
FÈVRE (Henri), architecte, rue de la Ville-l'Evêque, 31.
FICHET (Pierre-Anatole), rue de Clichy, 21.
FIÉVET (Ernest-Émile), à La Capelle (Aisne).
FINET (Louis), boulevard Central, 33, à Bruxelles (Belgique).
FINET (Théophile), avenue des Arts, 51, à Bruxelles (Belgique).
FLACHAT (Jules), ✱, place Reggio, 13, à Bar-le-Duc (Meuse).
FLACHAT (Yvan), rue de Grenelle-Saint-Germain, 102.
FLAMAN (Nicolas-Charles-Eugène), rue Saint-Laurent, 52, à Lagny (Seine-et-Marne).
FLAUD (Gustave-Achille), ✱, constructeur, avenue de Suffren, 40.
FLAVIEN (Emile-Georges), ✱, rue Condorcet, 63.
FLEURY (Edme), au Tréport (Seine-Inférieure).
FLEURY (Pierre-Élie-Jules), ✱ ✱, rue d'Angoulême, 27.
FLEURY (Jean-Simon), ✱, O. ✱, ingénieur en chef de section des chemins de fer de l'État, à Fontgombault (Indre).
FLEURY (Jules-Auguste), rue de Rennes, 85.
FLICOTEAUX (Achille), rue de Grenelle-Saint-Germain, 59.
FLOUCAUD (Arnaud-Joseph), à Chartres (Eure-et-Loir).
FOCKEDEY (Henri-Charles-Marie), associé de la maison Seulfort, Malliar et Meurice, à Maubeuge (Nord).
FONBONNE (de) (Charles-Alexandre), rue de Dunkerque, 20.
FONTAINE (Hippolyte), rue Drouot, 15.
FONTENAY (de) (Anselme), ✱, ingénieur-chimiste au chemin de fer d'Orléans, boulevard Saint-Michel, 77.
FONTENAY (Tony), rue Lesdiguières, 15, à Grenoble (Isère).
FONTENAY (de) (Eugène), ✱, rue de l'Arbalète, 14, à Autun (Saône-et-Loire).

MM. FORCHER (Adolphe-Maximilien), ingénieur en chef de la traction des chemins de fer de l'État, à Buda-Pest (Hongrie).

FOREY (Miltiade), ✻, directeur des usines métallurgiques, à Montluçon (Allier).

FORQUENOT (Victor), O. ✻, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer d'Orléans, boulevard Saint-Michel, 24.

FORQUENOT (Armand), ✻, rue de Provence, 34.

FORTET (Charles-Élie-Dioclès), chef de section des travaux neufs au chemin de fer du Nord, à Bavay (Nord).

FORTIN (Jules-Prosper), ingénieur au Crédit lyonnais, service des Études financières, boulevard des Filles-du-Calvaire, 4.

FORTIN-HERRMANN (Louis), boulevard Montparnasse, 138.

FORTIN-HERRMANN (Émile), boulevard Malesherbes, 92.

FOUCHÉ (F.-H.), constructeur, rue des Écluses-Saint-Martin, 38.

FOUQUET (Louis-Ernest), ✻, chez M. Gouin, avenue de Clichy, 176.

FOURET (Georges-Jean-Baptiste), rue Billault, 16.

FOURNIER (Eugène), rue Pestalozzi, 8, à Vienne (Autriche).

FOURNIER (Louis-Victor), rue des Minimes, 14 *bis*.

FOURNIER (Victor), ✻, métallurgiste, boulevard de l'Empereur, 178.

FOURNIER, rue de la Ville-l'Évêque, 40.

FOURNIER (A.), architecte, boulevard du Chemin-de-Fer, 60, à Orléans (Loiret).

FRANCK DE PRÉAUMONT (Edmond-Valéry), rue du Helder, 13.

FRANCQ (Léon-Émile), boulevard Haussmann, 62.

FRADÉRA (Richard), 1, calle del Conde de Cesalteo, Barcelone (Espagne).

FRAENKEL (Henri), au chemin de fer du Nord-Est, place De Brouckère, 43, à Bruxelles (Belgique).

FRAIX (Félix), ingénieur au chemin de fer de la Beira-Alta, à Celorico da Beira (Portugal).

FRAIX (Alfred-Alexandre-Aimé), 23, Delahay Street Westminster S. W. (Londres).

FRANCEZ (Pierre-Auguste-Georges), route de Flandre, 12, à Pantin (Seine).

FRANCISQUE-MICHEL (Roland-Victor), à la Compagnie Franco-Algérienne à Oran (Algérie).

FRANÇOIS (Joseph), à Seraing (Belgique).

FRESNAYE (Adrien-Aimé), fabricant de papiers, à Marenla, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).

FREY fils (André-Pierre), constructeur, rue Piat, 21, villa Ottoz, 1, à Belleville.

FRÉZARD (Stanislas), rue Fontaine-au-Roi, 13.

FRICHOT, directeur de la Compagnie linière, à Pont-Remy (Somme).

MM. Friedmann (Alexandre), à Vienne (Autriche).
Frion (Antoine-Émile), avenue de Choisy, 158.
Fromantin (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 53.
Fuchet (Pierre-Paul), carrefour de l'Observatoire, 2.

G

MM. Gaget (Jean-Baptiste), O. ✠, canalisation d'eau, couverture et plomberie d'art, 23, rue Gutenberg (Boulogne-sur-Seine).
Gaildry (Cyprien), chaussée du Maine, 4.
Gailleux (Antoine), sous-chef de section au chemin de fer du Nord de l'Espagne, calle de Santander, 18, à Valladolid (Espagne).
Gallais (A.-Pierre), hôtel de l'Univers, à Liége (Belgique).
Gallais (Anselme-Pierre), rue des Petits-Hôtels, 7.
Gallaud (Charles), chef de bureau de la voie et des travaux au chemin de fer de Ceinture, rue Neuve-Fontaine-Saint-Georges, 6.
Gallois (Charles), directeur de la sucrerie de Francières, par Pont-Sainte-Maxence (Oise).
Gambaro, inspecteur principal du matériel au chemin de fer de l'Est, à la Gare, rue et place de Strasbourg.
Gandillot (Jules), rue Boileau, 12, à Auteuil.
Ganneron (Edmond), O. ✻, rue de Boursault, 18 (aux Batignolles).
Garate Galo, à Haro, Vieille-Castille (Espagne).
Garcia (Manuel-Charles-Auguste), à Saintes (Charente-Inférieure).
Gargan (Louis-Xavier), ✻, rue Perdonnet, 13.
Garnier (Jules-Jacques), ✻ ✠, place Delaborde, 6.
Garnier (Hubert-Louis-Alexis), 127, avenue Daumesnil.
Garreta (François), fabricant de produits céramiques, calle Ramalleray, 20, à Barcelone (Espagne).
Gast (Édouard-Victor), à Issenheim (Alsace).
Gauchot (Paul-Élie), rue du Faubourg-Saint-Martin, 177.
Gaudet, O. ✻, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).
Gaudineau (Louis), constructeur d'appareils à gaz, rue Martel, 17.
Gaudry (Jules), boulevard de Magenta, 137.
Gaultier (Georges-Léon-Louis), rue Clapeyron, 5.
Gaudy (Michel), chef de section au chemin de fer de Marcenais à Libourne, aux Sables-d'Olonne (Vendée).
Gaune (André-Joseph-Émile), à Toulon (Var).
Gaupillat (Ernest), rue des Petites-Écuries, 54.

MM. Gauthey (Émile-Mac-Marius), industriel, rue Charlot, 48.
Gauthier (Charles-Prosper), ✱, avenue de Villiers, 97.
Gautier (Paul-Émile), rue du Temple, 20.
Gautier (Ferdinand), ingénieur de la Société des fers et aciers, rue Lepelletier, 20.
Gavand (Eugène-Henri), C, ✠. C. ✱ ✱, à Cousance (Jura).
Gayrard (Gustave), ✱, ingénieur en chef du chemin de fer de Ceinture, rue de Berlin, 33.
Gazan (Vulgis-Henri-Louis-Marie), rue de l'Infirmerie, 5, à Nevers (Nièvre).
Geai (Urbain-Jean), directeur de la Société de constructions navales, quai Colbert, au Havre (Seine-Inférieure).
Geay (Charles-Louis), architecte, à Cognac (Charente).
Genissieu (Gustave), rue de la Chaussée-d'Antin, 64.
Georgin (Constant), rue des Pyrénées, 377, à Belleville.
Geoffroy (Octave), aux ateliers du chemin de fer du Nord, à Charleroi (Belgique).
Gérard (Paul-Clovis), avenue Daumesnil, 32.
Gerber (Eugène), O. ✱, directeur de l'exploitation des chemins de fer de Roumanie, à Ploesti (Roumanie).
Germon (Alexis), C. ✱, chef de division aux chemins de fer de Paris à Lyon, rue des Tournelles, 60.
Ghesquière-Diericx, quai Henri IV, 34.
Gibault (Eugène), rue Truffaut, 28.
Gibon (Alexandre-L.), ✱, directeur des Forges de Commentry (Allier).
Giffard, ✱, rue de Marignan, 14.
Gignoux (Arthur-Joseph), rue Doudeauville, 98.
Gigot (Paul-Eugène), rue du Faubourg-Poissonnière, 61.
Gil (Claudio), Calle de Valencia, 337, à Barcelone (Espagne).
Gillon (Auguste), G. ✠ ✱ ✱ ✱, à Renory-Angleur-lez-Liége (Belgique).
Gillot (Auguste), avenue de Villiers, 101.
Gillot (Isidore-François-Louis), quai de la Râpée, 54.
Gillotin (Émile), à Plainfaing (Vosges).
Girard (Adam-Charles), ✱, rue des Écoles, 20.
Girard (Joseph), fabricant de pianos, rue de la Banque, 5.
Girard (Paul), directeur des hauts fourneaux de Quiros, par Oviedo y Proaza, Asturies (Espagne).
Girardin (Auguste-Étienne), rue de Vincennes, 36, à Montreuil (Seine).
Giraud (Jules-Joseph-Stanislas), ingénieur au Nord-Est Suisse à Zurich (Suisse).
Gislain, distillation des schistes bitumineux, boulevard de la Chapelle, 11.

MM. **Gispert** (de) (Henrique), calle de San Simplicio, 4, à Barcelone (Espagne).

Gobert (Jean-Baptiste), ingénieur de la maison Eiffel et Cie, constructeurs, avenue de Villiers, 110.

Godefroy (Louis-Alexandre), rue Endeix-Magnien, à Limoges (Haute-Vienne).

Godfernaux (Emile-Edmond-Désiré), maison Gouin, 173, avenue de Clichy (Batignolles).

Godefin (Félix-Marie-Jean), rue Saint-Louis, 19, à Saint-Étienne (Loire).

Goldenberg (Paul-Frédéric-Alfred), à Zornhoff, près Saverne (Alsace).

Goldschmidt (Philippe), IX Liechtenstein strasse, 11, à Vienne (Autriche).

Goldschmidt (de) (Théodor Ritter von), ✻, Nibelungen-Gasse, 7, à Vienne (Autriche).

Gondolo (Antonio-Guido), contrôleur du matériel des chemins de fer de la Haute-Italie, à Antica, stazione per Monza, à Milan (Italie).

Gonzalez-Frossard (Antonio), calle de Tallers, 78, à Barcelone (Espagne).

Goschler (Charles), C. ✻, ✠, à Cinq-Mars-La-Pile (Indre-et-Loire).

Gottereau (Georges-Jean-Marie), ✻ ✻, rue de Douai, 9.

Gottschalk (Alexandre), ✻ ✻ ✻ ✻ O. ✻, cité Rougemont, 10.

Gouault (Pierre-Alexandre), rue Jeanne-Darc, 25, à Rouen (Seine-Inférieure).

Gouin (Ernest), C. ✻, constructeur, rue de Cambacérès, 4.

Gouin (Jules-Édouard), avenue de Clichy, 176.

Goumet, constructeur de pompes, rue du Temple, 118.

Goupillon (Arthur-Jules-Désiré), rue Nollet, 81, à Batignolles.

Gouvy (Alexandre), gérant et copropriétaire des forges de Dieulouard (Meurthe-et-Moselle).

Govignon (Henri-Bonaventure), au chemin de fer d'Arzew à Saïda, à Constantine (Algérie).

Grall (Isidore), inspecteur des steamers, des gondoles, hirondelles et abeilles de la Gironde, à Lormont (Gironde).

Grand fils (Julien), directeur des forges, à Oullins, près Lyon (Rhône).

Grasset (Louis-Ch.-Constant), C. ✻, chef du service de la voie au chemin de fer du Nord de l'Espagne, Léganitos, 54, à Madrid (Espagne).

Grebus (Charles), C. ✻ ✻, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante, station de Atocha à Madrid (Espagne).

MM. Greiner (Adolphe), chef du service des aciéries de Cockerill, à Seraing (Belgique).

Grelley (Pierre-Jules-Armand), ✻, à la manufacture des glaces, chemin de la Gare, 1, à Saint-Denis (Seine).

Gressier (Louis-Edmond), rue de Lyon, 3.

Grièges (de) (Louis-Maurice), sous-ingénieur de la traction des chemins de fer de l'Ouest, rue de Clichy, 11.

Grimshaw (Robert), avenue d'Eylau, 155 et 119, S. Fourth-Philadelphia.

Grison (Théodore-Pierre), 149, rue Saint-Denis.

Grobert (Joseph-Ulysse de), chimiste à la sucrerie, à Abbeville (Somme).

Grouvelle (Philippe-Jules), rue des Écoles, 26.

Guébin (Jules), fabricant d'appareils d'éclairage, rue des Sablons, 5 *bis*, Passy.

Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

Guerbigny (Germeuil-Gaston), chef d'institution, à Villiers-le-Bel (Seine-et-Oise).

Guérin (Théodore-Antoine), rue de Chabrol, 51.

Guérin (Louis-Dominique), à Roye (Somme).

Guérin de Litteau (Edgar), O. ✻ ✻, rue Blanche, 3.

Guéroult (Paul), quai de Billy, 6.

Guettier (André), rue Vital, 35.

Guibal (Théophile), ✻ O. ✠, professeur à l'École des Mines de Mons, rue des Groseilliers, 43, à Mons (Belgique).

Guigon (Éloi), directeur des Écoles égyptiennes d'Arts-et-Métiers, au Caire (Égypte).

Guillaume (Charles), ✻ C. ✻, directeur des chemins de fer du Nord de l'Espagne, à Madrid (Espagne).

Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 36.

Guillemin (Étienne), à la Perraudette, près Lausanne (Suisse).

Guillemin (Georges), fondeur, avenue Parmentier, 2.

Guillot (Gustave), ✻, avenue de Neuilly, 27.

Guisan (Olivier-René), ingénieur aux chemins de fer de la Suisse occidentale, avenue de Rumine, 2, à Lausanne (Suisse).

Guntz (Charles), à Haineville, par Flers (Somme).

Guyenet (Constant-Auguste), boulevard de Magenta, 83.

Guyot-Sionnest (Étienne-Ernest), rue Philippe-de-Girard, 54.

H

MM. Haass (Henry), C. ✵ O. ✵ O. ✵ ✵ ✵, chef de la maison Krupp, rue Blanche, 8.

Hack (Édouard-Louis), chaussée de la Muette, 7, à Passy.

Hacquard (Emile-Ernest), rue Pichon, 7, à Nancy (Meurthe).

Hallié (François-Ernest), ✵, fondateur de l'Institut d'arts et métiers de Fermo (Italie).

Hallopeau (Paul-François-Alfred), inspecteur principal chef du service central du matériel au chemin de fer P.-L.-M., répétiteur à l'École centrale, rue de Lyon, 3.

Halot (Alphonse-François-Marie-Joseph), directeur de la Société des ateliers de la Dyle, à Louvain (Belgique).

Hamelin (Paul), chimiste, rue Lebon, 5, aux Ternes.

Hamelin (Gustave), chez MM. Eiffel et Cie, Passeio S. Sao Lazaro, 41, à Porto (Portugal).

Hamélius (Edouard), rue de La Rochefoucauld, 24.

Hamers, rue Morère, 13 (14e arrondissement).

Hamoir, ✵, maître de forges, à Maubeuge (Nord).

Hamoir (Fernand), directeur de la manufacture de carrelages céramiques à Louvroil, par Maubeuge (Nord).

Hanrez (Prosper), directeur de la Société Solvay et Cie, usine de Varangeville-Dombasle, à Dombasle (Meurthe-et-Moselle).

Hardon (Alphonse-Eugène), 2, Villa-Saïd, avenue du Bois de Boulogne, 56.

Hardy (John-George), X, Laxemburgenstrasse, 2, à Vienne (Autriche).

Haugton (Benjamin), 1, Westminster Chambers, Victoria street, London, S. W. (Angleterre).

Heirsch (Robert), à Namur (Belgique).

Helson (Charles), ingénieur, chez M. Rémy Jacomy, rue Lepeletier, 31.

Helson (Cyriaque), constructeur de tubes en fer, à Hautmont (Nord).

Hély-d'Oissel (Paul-Frédéric), rue de Chaillot, 70.

Henderson (David-Marr), ingénieur en chef de douanes impériales chinoises, à Shang-Haï (Chine).

Henrich (Jules), rue de Flandre, 199.

Henri-Lepaute fils (Édouard-Léon), horloger, rue La Fayette, 6.

Henriet (Louis-Jean), ingénieur de la Compagnie des Docks de Saint-Ouen, rue de Chabrol, 28.

MM. HENRY (Jean-Edmond), rue du Poteau, 19.

HENRY (Fernand), 9, rue Bergère.

HENRY (René-Pierre-Jules-Marie), à Aron (Mayenne).

HERBET (Auguste), ingénieur aux forges de Tamaris, près Alais, rue La Fayette, 36.

HERMARY (Hippolyte-Albert-Joseph), agriculteur, à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).

HERPIN (Louis), ingénieur des travaux neufs, rue Dadier, 6 *bis*, à Valenciennes (Nord).

HERPIN (Henri-Félix), directeur de l'usine métallurgique de MM. Cristoffle et Cie, chemin de la Gare, à Saint-Denis (Seine).

HERSCHER (Charles-Georges), ✻, constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.

HERSENT (H.), rue de Naples, 4.

HERVEY-PICARD (Paul-Philippe), architecte, rue de Rome, 74.

HERVIER (Alfred-Charles), boulevard Beaumarchais, 102.

HIGNETTE (Jules), ✻, boulevard Voltaire, 162.

HINSTIN (Napoléon), boulevard de Strasbourg, 15.

HITTORF (Henri-Bonaventure), chaussée d'Ucèle, 34, à Bruxelles (Belgique).

HONORÉ (Frédéric), directeur des Établissements de la Risle, boulevard Saint-Germain, 238.

HOUBIGANT (Octave), boulevard Beaumarchais, 6.

HOUEL (Jules-Gervais-Auguste), avenue des Champs-Élysées, 75.

HOULBRAT (Abel), rue de Rome, 63.

HOULON (Amédée-Joseph), rue Bertin, 2, à Reims (Marne).

HOURIER (Évariste), ✻, rue des Acacias, 20, aux Ternes.

HOUSSIN (Jules-Clément), rue du Petit-Manoir, 2, à Saint-Jean-d'Angely (Charente-Inférieure).

HOVINE (Alfred), ✻, rue de Lyon, 61.

HOVINE (Ernest), rue de Lyon, 61.

HUBER (William), ✻ ✻, rue de Miroménil, 76.

HUBER (Alcide-Louis-Joseph), ingénieur de la voie au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

HUBER (Emile), ✻, rue des Quatre-Fils, 20.

HUET (Alfred), ✻, métallurgiste, rue de la Victoire, 46.

HUET (Paul-Jean), rue d'Hauteville, 36.

HUGON (Pierre), rue de Vaugirard, 165.

HUGUENIN (Jules), directeur des filatures et tissages de la maison Ritter et Rittmeyer, au Strazig, près Gorice Illyrie (Autriche).

HUGUET (Auguste-Adrien), directeur de la Compagnie des chemins de fer de Barbezieux à Châteauneuf, rue Laugier, 44.

HUNEBELLE aîné (Jules), O. ✻, entrepreneur de travaux publics, rue de Solférino, 2.

I J

MM. Ibran (Jérôme), directeur des forges et hauts fourneaux de Mières, province de Oviedo (Espagne).

Imbach (Philippe), chimiste chez MM. Kœchlin, Baumgartner et Cie, à Loerrach (Grand-Duché de Bade).

Imbert (Jean-Jules), ingénieur à la Compagnie du touage de Conflans à la mer, quai de Paris, 42, à Rouen (Seine-Inférieure).

Imbert (Agamemnon), constructeur, à Saint-Chamond (Loire).

Imbs (Alexis-Joseph-Albert), avenue Joséphine, 41.

MM. Jacques (Léon), ingénieur des ateliers de la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).

Jacques (Jean-Nicolas), ingénieur, chef de division à la Cie des Dombes, à Cuisery (Saône-et-Loire).

Jagnaux (Raoul), boulevard Voltaire, 112.

Jalibert (Louis-Ferdinand), rue Daru, 15.

Jamin (Jules-Édouard), O. ✱, à Madiran, par Castelnau-Rivière-Basse (Hautes-Pyrénées).

Janicki (Stanislas), ✱ ✱ ✱ ✠ ✱, directeur de la Société de touage sur la Moskowa, à Moscou (Russie).

Jantot (Jacques-Edouard), de la maison Flécheux père et fils et Jantot, constructeur, rue des Arts, 2, à Rouen (Seine-Inférieure).

Janzé (de) (Maxime), rue d'Amsterdam, 27.

Japy (Jules-Auguste-Wilhem), manufacturier, à Beaucourt (Haut-Rhin).

Jaubert (Léon), 76, rue du Chemin-Vert.

Jauge (Amédée), rue des Batignolles, 7.

Jaunet (Léon), rue Pajol, 10.

Javal (Ernest), ingénieur des mines, rue de Téhéran, 13.

Jeanson (Charles-Marie-Auguste), rue de Seine, 69.

Jequier (Henri-Jean), rue d'Enfer, 41.

Joannis (de) (Léon), ✱, chez MM. Ybarra de Bilbao (Espagne).

Jolly (César), ✱, constructeur à Argenteuil (Seine-et-Oise).

Joly (de) (Théodore), boulevard Saint-Germain, 225 *bis*.

Joly (Charles-Victor), ingénieur de la Société métallurgique de l'Ariège, à Saint-Antoine, près Foix (Ariège).

Jomier (Jean-Henri), rue du Détour, à Béthune (Pas-de-Calais).

Jones (Hodgson), à la direction de l'établissement des Eaux, rue du Bloc, 24, à Arras (Pas-de-Calais).

MM. Jonte (Émile-Frédéric), ✠, directeur des forges de Franche-Comté, avenue Daumesnil, 116.

Jordan (Samson), O. ✱, professeur de métallurgie à l'École centrale, boulevard Malesherbes, 122.

Joret (J.-Eugène-Edmond), directeur de la stéarinerie de la Comète, rue de la Briche, à Saint-Denis.

Joubert (Léon-Philippe), rue Pigalle, 46.

Jouffret (Maximin), à Villars-les-Dombes (Ain).

Jourdain (Maurice-Frédéric), ✱, boulevard Haussmann, 56.

Jourdan (Émile-François), rue d'Arzew, 56, à Oran (Algérie).

Jousselin (Paul), ✱, quai du Marché-Neuf, 4.

Jouvet (Ernest), boulevard Voltaire, 47.

Joyant (Charles-Paul-Abel), ✱ O. ✱, rue La Bruyère, 19.

Juanmartinena (de) (José), à Renteria, province de Guipuzcoa (Espagne).

Jubécourt (de) (Alexandre-Félix), à Digoin (Saône-et-Loire).

Jubecourt (de) (Barthélemy), directeur de la fabrique de faïence et porcelaine, à Vaudrevange, par Sarrelouis (Prusse rhénane).

Jubert (Paul-Jacques), rue d'Aumale, 10.

Jullin (Aimé), ingénieur de la compagnie générale des travaux publics et particuliers, rue de Provence, 56.

Julliot (Henri-Albert), rue des Lions-Saint-Paul, 5.

Junien (Marius), rue Nadizdinkia, 12, à Odessa (Russie).

Jury (Joseph), à Istres (Bouches-du-Rhône).

Jury (Antoine), ingénieur au chemin de fer d'Angoulême à Marmande, à Bergerac (Dordogne).

K

MM. Kern (Émile-Jean-Rodolphe), 4, Westmester-Chambers-Victoria street, à Londres (Angleterre).

Kislanski (Wladislas), ✱ ✱ ✠, directeur-gérant de la Société industrielle pour l'exploitation des ateliers de construction, à Varsovie (Pologne).

Knab (Louis), directeur des hauts fourneaux, à Redon (Ile-et-Vilaine).

Knight (Jean-François), Société de construction des Batignolles, avenue du Trocadéro, 176.

Koch (Louis-Adolphe), ingénieur des ponts et chaussées, à Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

MM. **Komarnicki** (Sigismond), ingénieur principal aux chemins de fer de la Theiss, Marie-Valérie-Gasse, 1, à Pesth (Hongrie).

Kossuth (Louis-Théodore), chef du service du matériel et de la traction du chemin de fer de la Haute-Italie, à Turin (Italie).

Kowalski (Alfred-Marie), chef du service central au chemin de fer de Bone à Guelma (Algérie), rue Perdonnet, 13.

Kraft (Jean), ✱, ingénieur en chef du service des machines à la Société Cockerill, à Seraing (Belgique).

Kreglinger, 36, rue Marie de Bourgogne, à Bruxelles (Belgique).

Kronenberg (Ladislas), à Varsovie (Pologne).

Krémer (Philippe), constructeur, rue de Bourgogne, 50.

Krupp (Alfred), O. ✱ C. ✱ ✱ ✱ ✱ ✱, à Essen (Prusse).

L

MM. **Laborde** (Auguste-Jules), à la sucrerie de Montdidier (Somme).

Laborie (de) (Alexandre), ✱ ✱, boulevard de Sébastopol, 27.

Laboriette (de) (Exbrayat-Jules-Aimé), boulevard Saint-Germain, 194.

Laboulaye (Charles), ✱, rue de Madame, 60.

Labouverie (Prosper), à Bouillon, province de Luxembourg (Belgique).

Lacretelle (Claude-Étienne), à Bois-d'Oingts (Rhône).

Lacroix (Antoine), chimiste à la manufacture des glaces, à Hautmont (Nord).

Laferrère (Jean), ingénieur aux chemins de fer du Sud-Est, rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).

Lafon (Adrien), à Cuq-Toulza (Tarn).

Laforestrie (Joseph-Marie-Léon), ingénieur du gouvernement haïtien, à Port-au-Prince (Haïti), rue de la Victoire, 68.

Lagard (Léopold-Léonce), à Serravezza (Italie).

Lagarde (Nicolas-Pierre-Louis-Napoléon-Alphonse), avenue de Wagram, 79.

Lainé (Armand), fondeur, rue du Faubourg-du-Temple, 59.

Lainé (Édouard-Louis-Armand), fondeur, rue Oberkampf, 151.

Laligant (Paul), fabricant de papiers, à Maresquel, par Campagne-lès-Hesdin (Pas-de-Calais).

Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.

Lambert (Léon-Arthus), fabricant de sucre, à Toury (Eure-et-Loir).

MM. LAMBERT (Henri-Augustin-Alphonse), chef de section au chemin de fer de la Beira, Alta, à Mortagua (Portugal).
LAMING (Joseph-Mowbray), ✻, rue du Cherche-Midi, 64.
LANCEL (Augustin-Jules), ingénieur de la voie, à Tergnier (Aisne).
LANDRY (Louis-Pierre), boulevard Contrescarpe, 32 *bis*.
LANGLOIS (Auguste), rue de Rome, 60.
LANGLOIS (Charles), rue Caumartin, 12.
LANGLOIS (Ernest-Hippolyte), directeur gérant de l'institut d'arts et métiers, à Fermo (Italie).
LANIER (Georges-Gabriel), boulevard de Strasbourg, 42.
LANTIN (Maurice), filateur, rue Bergère, 30.
LANTRAC (Eug.-Adolphe), ✻, avenue Joséphine, 39.
LAPRADE (Xavier), au Creuzot (Saône-et-Loire).
LARA ORDONEZ (de) (Alfred), à Marchienne-au-Pont (Belgique).
LAROCHETTE (de) (Jérôme), ✻, associé gérant de la Compagnie des hauts fourneaux et fonderies de Givors, cours du Midi, 11, à Lyon (Rhône).
LARRUE (Louis), rue du Cirque, 7.
LARSEN (Georges-Daniel), Office Tramways, 7, Paultrey, Londres (E. C.) (Angleterre).
LARTIGUE (Henri), Grande-Rue de La Tour, 60, à Passy.
LARTIGUE (Charles), O. ✻, à Madrid (Espagne).
LA SALLE (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
LASSERON (Charles), rue Franklin, 25.
LASSON (Alphonse), faubourg Saint-Martin, 12.
LATHUILLIÈRE (Jean-Claude), constructeur, avenue du Maine, 171.
LATHOUD (Paul-Jean-Marie), au Bourget-du-Lac (Savoie).
LAUBRET (Marius-Victor), boulevard des Invalides, 37.
LAUNOY (Louis-Ernest), rue du Canal-Saint-Martin, 18 et 22.
LAURENS (Camille), ✻, rue Taitbout, 82.
LAURENT (Lambert), rue d'Alger, 7, au Mans (Sarthe).
LAURENT (Albert-Pierre-Laurent), chef des ateliers du chemin de fer du Midi, rue de la Gare Saint-Jean, à Bordeaux (Gironde).
LAURENZANA (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59, à Naples (Italie).
LA VALLÉE (de) POUSSIN (Oscar-Gustave), ingénieur en chef de la Compagnie des Eaux, place Vendôme, 16.
LAVALLEY, O. ✻ C. ✠, rue Murillo, 18.
LAVEISSIÈRE (Émile-Jean), ✻, rue de la Verrerie, 58.
LAVEZZARI (Émile), ✻, rue de Boursault, 1.
LEBARGY, ingénieur de la voie, à Amiens (Somme).
LEBEL (Gaston-Jules), directeur de la tuilerie de Montchanin-les-Mines (Saône-et-Loire).
LEBLANC (Félix), ✻, professeur à l'École centrale, vérificateur du gaz de la ville de Paris, rue de la Vieille-Estrapade, 9.

MM. LE BLOND (Camille), chef de bureau des Études des chemins de fer de la Beira Alta, 1, Praca do Loreto, Lisbonne (Portugal).

LEBON (Eugène), ✱ C. ✠, rue Drouot, 15.

LE BRUN (Louis-Gabriel), constructeur mécanicien, rue de Belzunce, 6.

LE BRUN (Raymond-Louis), ✠, ingénieur en chef du chemin de fer et du port Saint-Denis (Réunion).

LECELLIER (Charles-Victor), rue de Trévise, 44.

LECHERF, ingénieur au chemin de fer, à Etterbeck (Belgique).

LÉCLANCHÉ (Georges), fabricant d'appareils télégraphiques, rue de Laval, 9.

LE CLER (Achille), ✱, directeur de la Société des polders de Bouin (Vendée), rue Bonaparte, 47.

LECLERC (Émile), ✱, rue Lemercier, 32, aux Batignolles.

LECŒUVRE (Paul), ✱ ✱ ✠, boulevard Voltaire, 62.

LECOCQ (Jean-Félix-Édouard), chef de bureau du service technique à la C[ie] du Midi (Direction), rue de Rome, 127.

LECOINTE (Gustave-Eugène-Alphonse), à Aumont (Lozère).

LECORBEILLER (Georges-G.), rue de Stockholm, 4.

LE CORDIER (Léon), directeur du chemin de fer de Rouen à Bon-Secours, rue Pergolèse, 48.

LECOUTEUX (Nicolas-Hippolyte), rue Oberkampf, 74.

LEDEUIL (Stéphane), constructeur, rue Mechain, 13.

LEFRANÇOIS (Eugène), rue Boissière, 19.

LEGAT (Mathurin-Désiré), rue de Châlons, 42.

LEGAVRIAN (Paul-Floride), boulevard de la Liberté, 133, à Lille (Nord).

LÉGER (Jean-Pierre-Alfred), rue de Bourbon, 28, à Lyon (Rhône).

LE GRANCHÉ (Gustave-Marie), rue de Maubeuge, 1.

LEGRAND (Charles), ingénieur en chef de la Société des chemins de fer de l'État belge, rue de Locht, 103, à Bruxelles (Belgique).

LEGRIS (Édouard), constructeur de machines, à Maromme (Seine-Inférieure).

LEJEUNE (Charles-Émile), ✱, directeur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans à Châlons, rue de Turin, 33.

LE LAURIN (Jules), rue d'Assas, 11.

LELORRAIN (Karl), directeur de la fabrique de caoutchouc de MM. Guibal et C[ie], rue Nationale, 35, à Ivry-sur-Seine.

LELOUP (Joseph-Benoît), fabricant de sucre, à Arras (Pas-de-Calais).

LELOUTRE (Georges), avenue des Gobelins, 33.

LEMARÉCHAL (Dieudonné-Jules), lamineur de métaux, rue Chapon, 3.

LEMASSON (Cyrille), O. ✱, ingénieur en chef de la Compagnie du canal de Suez, à Ismaïlia (Égypte).

MM. LEMOINE (Émile-Michel), rue du Cherche-Midi, 55.
LEMOINNE (Lucien), ✻, directeur de l'Asyle national de Vincennes, à Saint-Maurice (Seine).
LEMONNIER (Paul), aux forges de Terre-Noire (Loire).
LEMONNIER (Paul-Hippolyte), avenue de Suffren, 26.
LENCAUCHEZ, boulevard Magenta, 158.
LENEVEU (Ernest), chaussée Madeleine, 41, à Nantes (Loire-Inférieure).
LENICQUE (Henri), ingénieur directeur de la fabrique de matières colorantes, rue du Pont, 11, à Suresnes (Seine).
LE PAGE (Adrien-Frédéric), chef de l'exploitation du chemin de fer de Bone à Guelma, à Bone (Algérie).
LEPANY (Georges), rue Vivienne, 3.
LEPEUDRY (Paul-Noël), rue Fontaine-Saint-Georges, 34.
LEPRINCE (Alexandre), ingénieur hydraulicien, à Turin (Italie).
LEPRINCE-RINGUET (Paul-Émile), rue La Fayette, 118.
LEQUEUX (Paul-Victor-Pierre-Louis), rue d'Assas, 24.
LEROIDE (Georges-Louis), quai de Gèvres, 6.
LE ROY (Amable), ✻, faubourg Saint-Denis, 157.
LE ROY DESCLOSAGES (Raoul-Charles), à Champigny-sur-Marne (Seine).
LESAUVAGE (Jean-Baptiste), allée de la Chapelle, à Arcachon (Gironde).
LESCASSE (Jules), architecte, ingénieur à Yokohama (Japon).
LESEUR (Léon-Henri), à Longeray, par Collonge (Ain).
LESUEUR (Georges), entrepreneur de travaux publics, à Philippeville (Algérie).
LESPERMONT (Louis-Joseph-Amédée), boulevard de Sébastopol, 9.
LETELLIER (Antoine-Émile), rue Saint-Vincent-de-Paul, 7.
LETESTU, fabricant de pompes, rue du Temple, 118.
LÉTRANGE (Léon), fondeur, lamineur et maître de forges, rue des Vieilles-Haudriettes, 1.
LEULLIER (Louis-Bernard-Honoré), architecte de la ville d'Amiens (Somme).
LEVASSOR (Émile-Constant), ingénieur chez MM. Périn et Cie, avenue d'Ivry, 19.
LEVAT (Gustave), ✻, à Arles (Bouches-du-Rhône).
LEVEL (Émile), ✻, boulevard Pereire, 100.
LÉVÊQUE (Alfred-Emmanuel-Louis), ingénieur, chez M. Henri Clément, cours Lieutaud, 77, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
LÉVI-ALVARÈS (Albert), O. ✻ C. ✻, rue Miroménil, 94.
LEYGUE (Léon), ingénieur au chemin de fer de Clermont à Tulle, à Ussel (Corrèze).
LHOMME (Paul-Émile), directeur des usines de Marquise (Pas-de-Calais).

MM. **Liébaut** (Arthur), ✠, route d'Aubervilliers, 50, à Pantin.

Lignières-Lenfumé (de) (Jules-Adolphe), à Trilbordou, par Esbly (Seine-et-Marne).

Limet (Hippolyte), ✠, fabricant de limes, à Cosne (Nièvre).

Lippmann (Édouard), entrepreneur de sondages, rue de Chabrol, 51.

Litschfousse (Léon), ✠ ✠, calle de las Hiléras, 17, à Madrid (Espagne).

L'Lamas (Emmanuel-Joseph-Eugène), rue Monsieur-le-Prince, 2.

Llatas-y-Riera (Rosendo), ingénieur sous-chef du chemin de fer de Saragosse à Pampelune et Barcelone, calle de Aragon, 332-30, à Barcelone (Espagne).

Lockert (Louis-Victor), O. ✠, boulevard Voltaire, 48.

Loiseau (Adolphe), rue Rivay, 34, à Levallois (Seine).

Loiseau (Désiré), raffineur, rue de l'Ourcq, 57.

Lombard-Gérin (Pierre-Barthélemy-Louis), rue de l'Arbre-Sec, 18, à Lyon (Rhône).

Longraire (Léopold-François), ✠ ✠, à Tulle (Corrèze).

Lopez-Bustamente (Francisco), G. ✠, ingénieur en chef de la construction du chemin de fer de Mérida à Séville, rue Fabiola, 26, à Séville (Espagne).

Loreau (Alfred-Isidore), constructeur, à Briare (Loiret).

Loriol (de) (Louis), rue Centrale, 46, à Lyon (Rhône).

Lotz-Brissonneau (Alphonse-François), constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).

Louden (H.-Jalmar), à Helsmgfors en Finlande.

Loustau (Gustave), ✠ ✠ ✠ ✠, rue des Béguines, 4, à Crépy-en-Valois (Oise).

Love (Georges-Henri), ✠, route de Montesson, 48, au Vésinet (Seine-et-Oise).

Love (Henry), au Creuzot (Saône-et-Loire).

Lucas (Charles-Louis-Achille), boulevard Denain, 8.

M

MM. **Macherez** (Alfred), rue de Grenelle-Saint-Germain, 172.

Madelaine (Édouard), à Saintes (Charente-Inférieure).

Maegherman (Anatole-Victor), à la gare de Lisbonne (Portugal).

Maillard (Jules), à Falisolles, par Tamines (Belgique).

Maire (Armand), rue de la Bienfaisance, 10.

MM. Maisonneuve (Émilien-François), inspecteur de l'exploitation des chemins de fer de l'État, boulevard Heurteloup, 101, à Tours (Indre-et-Loire).

Maldant (Eugène-Charles), installation de travaux pour gaz et eaux, rue d'Armaillé, 21 et 23, aux Ternes.

Mallet (Anatole), rue de La Rochefoucauld, 30.

Mallet (Paul-Alfred), boulevard de la Villette, 54.

Mallié (Jules), avenue des Amandiers, 7.

Malo (Léon), ✱, directeur des mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).

Manby (Charles), ✱ C. ✱ ✱ ✠, 9, Victoria Chambers, Westminster S. W. Londres (Angleterre).

Manès (Julien), directeur de l'École supérieure de Commerce de Bordeaux, rue Judaïque, 2, à Bordeaux (Gironde).

Mangini (Félix), rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).

Mangini (Lucien), rue des Archers, 1, à Lyon (Rhône).

Manoury (Henri-Armand-Joseph), rue La Fayette, 85.

Mantegazza (Saül), Via Gesu, 15, à Milan (Italie).

Marchal (Victor), rue de la Barouillère, 9.

Marché (Eugène-Ernest), ✱, rue Blanche, 53.

Marco Martinez (Agapito), C. ✠ ✱ ✱, ingénieur mécanicien de la division du chemin de fer du Nord de l'Espagne, Libertad, 29, à Valladolid (Espagne).

Mardelet (Charles), faubourg Saint-Denis, 160.

Maréchal (Alfred), rue de Turin, 14.

Maréchaux, fils (Marie-Antoine-Arthur), à Montmorillon (Vienne).

Marès (Pierre-Louis-Henri), ✱, agriculteur, à Montpellier (Hérault).

Marin (Paul) filateur, à Bühl, près Guebwiller (Alsace).

Marindaz (Jules-Charles), rue Moncey, 2.

Marland (Joseph), ingénieur des Forges et Fonderies de Bacalan, 176, rue Lormont, à Bordeaux (Gironde).

Marlé (Paul), à Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire).

Marsaux (Anatole-Victor), rue Taitbout, 80.

Marsillon (Jean), ✱, ingénieur principal, à Vesoul (Haute-Saône).

Marsillon (Léon), boulevard Haussmann, 80.

Martenot, ✱, à Ancy-le-Franc (Yonne).

Martin (Charles), directeur d'une fabrique de produits pharmaceutiques, avenue Victoria, 24.

Martin (Louis), ✱, ingénieur en chef du chemin de fer de Vincennes, boulevard Beaumarchais, 54.

Martin (Charles-William), avenue de la Reine-Hortense, 13.

Martin (Eugène-Arsène), rue de Condé, 44, à Valenciennes (Nord).

Massé (Alexandre), rue de la Feuillade, 3.

Masselin (Armand), rue de Vaugirard, 372.

MM. Massicard (Émile-Alexandre-Joseph), rue des Dames, 41.
Masson (Georges), impasse Béranger, 11, à Vaugirard.
Masure (Gustave), directeur de la Société de construction de chemins de fer, rue du Nord, 56, à Bruxelles (Belgique).
Mathias (Félix), O. ✻ O. ✻ ✻ ✠ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Mathias (Ferdinand), ✻ ✻, à Lille (Nord).
Mathieu (Henry), ✻, rue Las-Cases, 26.
Mathieu (Ferdinand), O. ✻, rue de Provence, 56.
Mathieu (Maurice), inspecteur de la traction des chemins de fer du Nord de l'Espagne, à Zaragoza (Espagne).
Matthiessen (James-Adolphe), rue Corvisart, 14.
Mauget (Jean-Aristide), ✻, à Vimont (Calvados).
Mauguin (Pierre-Étienne), rue Taitbout, 80.
Maure (Edmond), avenue Percier, 10.
Maury (Arthur-Nicolas), hôtel de la Poste, à Airolo, canton du Tessin (Suisse).
Maury (Augustin), constructeur, rue Saint-Georges, 52.
Maus (Georges), chaussée de Warre, 79, à Bruxelles (Belgique).
Maxwell Lyte (Farnham), 6, cité de Retiro, faubourg Saint-Honoré.
Mayer (Ernest), ✻, rue Moncey, 9.
Mazurkiewicz (Ladislas-Casimir), rue Taitbout, 77.
Mehrmann (Auguste-Albert), chef des ateliers de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, rue Pajol, 22.
Meiner (Charles-Louis), maître de forges, à l'Isle-sur-le-Doubs (Doubs).
Mékarski (Louis), rue du Havre, 6.
Mélin (Jules-Léon), rue Louvois, 6.
Méliton (Martin), ingénieur en chef de la construction du chemin de fer du Nord-Ouest, calle del Avenal, 20, à Madrid (Espagne).
Ménager (Eug.-Benj.-Antoine), rue Singer, 10, Passy.
Mensier (Alphonse-Eugène à la gare de l'Est, rue de Strasbourg.
Méraux (Gustave-Louis), rue de Chabrol, 36.
Mercier (Auguste), chimiste de la Compagnie du chemin de fer de Lyon, à la gare de Paris, boulevard Mazas.
Mercier (Théophile-Auguste), sous-ingénieur de la voie au chemin de fer du Nord de l'Espagne, Claudio Coello, 2, à Madrid (Espagne).
Mercier (Louis-Gustave), n° 9, Volksgartenstrasse, à Vienne (Autriche).
Merkl (de) (Jean) aux Usines de Witkowitz, en Moravie (Autriche).
Mesdach (Louis-Charles-Marie), ✻ C. ✠ ✻ ✻, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer, ✻, à Graffenstaden (Alsace).
Mesnard (Auguste), ingénieur des ateliers de la maison Cail, rue de l'Université, 183.

MM. Métivier (Raymond), rue Malar, 4.
Meyer (Adolphe), avenue d'Essling, 18.
Meyer (Henri), rue de la Verrerie, 58.
Mianne (Gabriel-Antoine), chef de division au chemin de la Cluse à Bellegarde, à Saint-Germain-de-Jour par Bellegarde (Ain).
Michaud (Edmond), fabricant de savons, rue de Pantin, 48, à Aubervilliers (Seine).
Michaud (Jules), rue d'Assas, 96.
Michel (Alphonse), rue des Jacobins, 17, à Beauvais (Oise).
Michelet (Émile), fabricant de plâtre, quai Jemmapes, 168.
Mignon, ✻, constructeur, boulevard Voltaire, 137.
Mignot (Georges), rue Saint-Maur, 74.
Millet (Félix-Théodore), à Persan (Seine-et-Oise).
Millet (Jules-Auguste-François), gérant de la sucrerie à Masnières (Nord).
Mirecki (Antoine-Slavomir), boulevard Magenta, 150.
Mitchell (William), ✻ ✻ ✠, boulevard Beaumarchais, 34.
Moerath (Jean-Népomucène), ✻, ingénieur, via Babuino, 68, à Rome (Italie).
Mohr (Frédéric-Christian-Michael), avenue Trudaine, 27.
Moisant (Armand), ✻, constructeur, boulevard de Vaugirard, 20.
Molin (de) (Georges-Henri), avenue de Belle-Roche, 1, à Lausanne (Suisse).
Molinos (Léon-Isidore), ✻, rue de Châteaudun, 2.
Moll (Henri), route de Toulouse, 144, à Bordeaux (Gironde).
Mollard, rue de l'Écluse, 17.
Mollet-Fontaine (Joseph-Charles-Firmin), constructeur, à la Madeleine-lez-Lille (Nord).
Monard (Charles), rue Perdonnet, 12.
Monbro (Georges), représentant d'usines anglaises, rue Louis-le-Grand, 11.
Moncharmont (Paul), inspecteur du matériel au chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 18.
Mondollot (Auguste-Adrien), ingénieur constructeur, 72, rue du Château-d'Eau.
Monfray (Albert), filateur, à Deville-lez-Rouen (Seine-Inférieure).
Monin (Charles), attaché de la maison Rouffet, constructeur, rue Saint-Ambroise, 33.
Monnier (Démétrius), rue Pigalle, 57.
Monnot (Paul-Charles), rue Saint-Placide, 60.
Montandon (Henry-Léon), rue d'Amsterdam, 71.
Montel (François), ingénieur aux usines de Fourchambault, hôtel de l'Europe, à Lisbonne (Portugal).
Montouan (André), rue d'Auge, 46, à Caen (Calvados).
Mony (Stéphane), O. ✻, à Commentry (Allier).

MM. MORANDIERE (Jules-Raoul), ingénieur des études du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Ouest, rue Notre-Dame-des-Champs, 27.

MORANDIERE (Edouard-Alexis), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.

MOREAU (Albert), rue de Seine, 6.

MOREAU (Émile), rue de la Tour, 16, à Bordeaux (Gironde).

MOREAU (Auguste-François-Xaxier), boulevard Voltaire, 113.

MOREAU (Henri-Georges), constructeur, rue Chaudron, 24.

MOREAUX (Félix) ✻ ✠ ✻ G. ✻ ✻ ✻, rue de Ponthieu, 1.

MOREL (Frédéric-Henri), directeur du matériel naval de la Compagnie des bateaux à hélice du Nord, à Dunkerque (Nord).

MORELLE (Albert-Adhémar), boulevard Magenta, 141.

MORICE (Pierre-Marie), ✻, ingénieur du service de la voie, à Hazebrouck (Nord).

MORIN (le général), G. ✻ ✠ ✻ ✻, directeur du Conservatoire des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.

MORS (Louis), rue Saint-Martin, 4 *bis*.

MOUCHELET (Émile), rue Clapeyron, 19.

MULAT (Pierre-Alexandre), ✻, aux Verreries de Fourmies (Nord).

MULLER (Adrien), à Jemmape-lez-Liége (Belgique).

MULLER (Émile), O. ✻, professeur à l'École centrale, rue des Martyrs, 19.

N

MM. NANCY (Alfred), rue du Cheval-Blanc, 13, à Chartres (Eure-et-Loir).

NARANZO DE LA GAZZA (Henri), ingénieur des mines, à Linares, province de Jaen (Espagne).

NIAUDET (Alfred), rue de Seine, 6.

NILLUS (Albert-Emmanuel), rue de Rome, 71.

NIZET (Charles), rue de Rennes, 89.

NOBEL (Alfred), avenue Malakoff, 53.

NOBLOT (Adolphe-Jean-Louis), filateur à Héricourt (Haute-Saône).

NOISETTE, ✻, rue des Poissonniers, 32, à la Chapelle.

NORDLING (Wilhelm), ✻ ✻ ✻ ✻, directeur général des chemins de fer de l'Autriche, à Vienne (Autriche).

NORMAND fils (Benjamin), ✻, constructeur, rue des Marettes, 119, à Sotteville-lez-Rouen (Seine-Inférieure).

NORMAND (Jacques-Augustin), constructeur, 67, rue du Perrey, au Havre (Seine-Inférieure).

MM. Nougaret (Jean-Joseph), rue Saint-Palais, 119, à Saintes (Charente-Inférieure).
Nousse (Ernest), à Cercanceaux, près Souppes (Seine-et-Marne).
Noyer (Alexandre), boulevard de la Gare, 41.

O

MM. Ogier (Louis), directeur de la fabrique de caoutchouc, à Blanzet (Puy-de-Dôme).
Olive (Joseph-Armand), rue Mosnier, 2.
Ollivier (Achille), boulevard Beaumarchais, 51.
Oriolle (Paul), rue Crébillon, 2, à Nantes (Loire-Inférieure).
Orsat (Louis-Hengist), ✱ ✱ rue de la Victoire, 29.
Orsatti (Camille), O. ✱ ✱, rue Neuve-des-Petits-Champs, 38.
Ory (Paul-Étienne), rue Rochechouart, 47.
Osmond (Floris), à Denain (Nord).
Oughterson (George-Blake), 2, Fairlaw-Villas-Grange-Road Ealing London, W. W.
Ozanne (Alexandre), architecte du département des Landes, à Mont-de-Marsan (Landes).

P

MM. Pangyet, Woonmin-Mandalay, Upper Burmah, via Brindisi.
Palotte (Émile) fils, sénateur, rue Taitbout, 9.
Parent (Félix-Victor-Philippe), directeur des mines de Castille Barruelo, Palencia (Espagne).
Parent (Louis-Alexandre), rue de Châteaudun, 42.
Pareto-Vilfredo, directeur des forges de San-Giovani, Toscane (Italie).
Parisse (Eugène), rue Fontaine-au-Roi, 49.
Parlier (Jean-Louis-Édouard), rue de Châteaudun, 15, à Passy.
Pascal (Roch-Georges), sous-ingénieur de l'atelier central au chemin de fer du Nord, boulevard Ornano, 34.
Pascal (de) (Louis-Henri-Marie), rue de Lyon, 73, à Lyon (Rhône).
Pasquet-Chamier (Georges-Antoine), au chemin de fer d'Anvin vers Calais, 67, rue de Calais, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

MM. Pasquier (Ferdinand-Philippe-Adolphe), 6, rue de la Banque, à Bruxelles (Belgique).
Pastor (Gustave), à Renory-Angleur-lez-Liége (Belgique).
Paul (Ernest), ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer portugais, à Lisbonne (Portugal).
Paul-Dubos (Antoine), rue de Clichy, 67.
Paur (Henri), à Zurich (Suisse).
Payard (Charles-Émile), chimiste, à Baccarat (Meurthe).
Pélegrin (Henri-Auguste), à Bollène (Vaucluse).
Pélegry (Maurice-François-Henri), maître des forges et laminoirs du Bazacle, à Toulouse (Haute-Garonne).
Péligot (Henri), rue Saint-Lazare, 43.
Peny (Edmond-Philippe), à Mariemont (Belgique).
Pereire (Eugène), ✠ O. ✠ ✠, faubourg Saint-Honoré, 45.
Pereire (Émile) fils, rue Murillo, 8.
Pereire (Henri), rue de la Ville-l'Évêque, 32.
Perret (Michel), administrateur de la Cie des Glaces et Produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, à Tullins (Isère).
Pérignon (Eugène), O. ✠, faubourg Saint-Honoré, 105.
Périssé (Jean-Sylvain), rue Boursault, 59.
Périssin (Alexandre-Emmanuel), rue Vintimille, 15.
Pernolet (Arthur), rue de Luxembourg, 42.
Perrault (Auguste-Étienne), ✠, avenue des Princes, 10, parc des Princes, à Boulogne-sur-Seine.
Pesaro (Jules), 29, rue Torino, à Milan (Italie).
Petau (Gustave-Gédéon), constructeur, rue du Ranelagh, 8.
Petiet (Marie-André), rue du Faubourg-Poissonnière, 110.
Petin, O. ✠, maître de forges, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit (François-Pierre-G.), manufacturier à Louviers (Eure).
Petit (Emile-Charles), fabricant de papiers, rue des Minimes à Roanne (Loire).
Petit (Germain-Félix-Amédée), rue La Fayette, 110.
Petit (Lucien), rue Jeanne-d'Arc, 67, à Rouen (Seine-Inférieure).
Petitjean, rue de Bruxelles, 13.
Petre, boulevard de Latour-Maubourg, 15.
Pettit (Marie-Gabriel-Édouard), chef de section au chemin de fer de Grande-Ceinture, boulevard des Batignolles, 10.
Philippon (Marie-Antoine-Camille-Ernest), rue de Dunkerque, 21.
Piarron de Mondésir (Émile-Siméon), ✠, avenue de Neuilly, 173, à Neuilly-sur-Seine.
Picard (Firmin), ✠ C. ✠ ✠, entrepreneur de travaux publics, place Vendôme, 12.
Pichault (Stéphane), chef de section du matériel des chemins de fer de la Société de John Cockerill, quai de l'Espérance, 21, à Seraing (Belgique).

MM. Pickering (Thomas-Richard), ✻, Portland Connecticut (États-Unis).

Pierre (Antoine), à Remiremont (Vosges).

Pierron, ✻, rue des Batignolles, 43, aux Batignolles.

Piet (Jules), appareils de chauffage et de ventilation, rue de Chabrol, 33.

Pifre (Marc-Abel), 24, rue d'Assas.

Pihet (Auguste) fils, ✻, constructeur de machines, rue Neuve-Popincourt, 8.

Pillichody (Arnault), constructeur, rue de Hambourg, 12.

Pinat (Anatole), ingénieur des hauts fourneaux et forges d'Allevard (Isère).

Pinart (Alfred), rue de Babylone, 10.

Piquet (Alfonse), C. ✻ C. ✻ ✠, 5, plaza de Isabel, à Madrid (Espagne).

Pischof (de) (Alfred), ingénieur de la Société de construction des Batignolles, à Souk-Arras, par Bone (Algérie).

Place (de) (Henri), directeur de la Compagnie des Houillères de Rochebelle, à Alais (Gard).

Plainemaison (Édouard), ingénieur du matériel et de la traction aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, calle Mendizabal, 6, à Valladolid (Espagne).

Planche (Jules), ingénieur des acieries d'Imphy (Nièvre).

Plazanet (de) (Joseph-Antoine), ✻, fabricant de produits chimiques, rue des Gravilliers, 23.

Plocq (Ernest), inspecteur chargé de l'exploitation des chemins de fer d'Achiet à Bapaume et de Boisleux à Marquion, place des États, 4, à Arras (Pas-de-Calais).

Poillon (Louis-Marie), constructeur de machines, boulevard Saint-Germain, 78.

Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).

Poliakoff (Lazare), ✠, 4, quai Anglais, à Saint-Pétersbourg (Russie).

Pollet (Henri), à Alcanices, province de Zamora (Espagne).

Polonceau (Ernest-Gustave), ✻ O. ✻, directeur du matériel et de la traction de la Société autrichienne I.-R.-P. des chemins de fer de l'État, Schwarzenberg strase, 17, à Vienne (Autriche).

Pompon (Henri), chef de service de l'entreprise générale de la construction de la ligne de Tours à Loches (Indre-et-Loire).

Poncelet (Antoine), ✻ G. O. ✻ C. O, rue Monsigny, 2.

Poncin (Frédéric), à la Péchaudière, commune de Nouans, par Montrésor (Indre-et-Loire).

Ponsard (Auguste), O. ✻, rue de Hambourg, 12.

Ponselle (Georges-Nicolas-Eugène), rue de Provence, 62.

MM. PONTZEN (Ernest), ✻, rue Neuve-des-Mathurins, 43.
PORTE (Napoléon-Cyprien), ingénieur de la Société des ciments de Valbounais, rue de Vaugirard, 28.
POSSOZ (Antoine), chimiste, rue du Dôme, 9.
POT (Charles), à l'usine à Gaz, route de Gênes, 8, à Nice (Alpes-Maritimes).
POTHIER (Francis), administrateur de plusieurs sociétés de Mines, rue de Penthièvre, 6.
POTTIER (Ferdinand), ✻, passage des Eaux, 4, à Passy.
POUCHET (James-Isaac), ✻ ✻ ✻, ingénieur de la maison Geneste et Herscher, boulevard Richard-Lenoir, 12.
POUPARD, ingénieur à la compagnie de Fives-Lille, rue Pauquet, 21.
POURCEL (Alexandre), ingénieur des usines de Terre-Noire (Loire).
POWELL (Thomas), constructeur-mécanicien, à Rouen (Seine-Inférieure).
PRILIPP (Philippe-Louis), rue de Paris, 129, à Saint-Denis (Seine).
PRISSE (Édouard-Louis), ✻, directeur du chemin de fer d'Anvers à Gand, à Saint-Nicolas (Belgique).
PRISSE (Édouard-Pierre), à Saint-Nicolas (Belgique).
PRIVÉ (Georges), rue du Luxembourg, 14.
PROCHASKA (Jules), directeur des laminoirs de la Sudbahn, à Graz, Styrie (Autriche).
PRONNIER (Charles), ✻ ✻, quai Voltaire, 23.
PROUTEAUX (René-Albert), ingénieur des forges de Semouse et directeur de la manufacture de Plombières (Vosges).
PRUDON (Jean-Marie), directeur des ateliers de construction H. Joret et Cie, à Montataire (Oise).
PROVEUX (Alphonse-Louis), chef de la traction au chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).
PRUS (Georges), ingénieur de la Vieille-Montagne, au consulat de France, à Santander (Espagne).
PRZEWOSKI (Charles-Alexandre), à Longuyon (Meurthe-et-Moselle).
PUIG Y LLAGOSTERA (François), à Manille, îles Philippines (Espagne).
PURY (de) (Gustave), ✻, rue du Château, 16, à Neuchâtel (Suisse).
PUYLAROQUE (de) (Raymond), à la raffinerie du Havre, rue des Raffineries 5, au Havre (Seine-Inférieure).

Q

MM. QUÉRUEL (Auguste), rue de la Charrière, 16.
QUESNOT (Louis-Auguste-Émile), boulevard Mazas, 20.

MM. Quillacq (de) (Louis-Eugène-Bernard), ✠, constructeur, à Anzin (Nord).

R

MM. Rabeuf (Ferdinand), rue de Maubeuge, 102.

Raffard (Nicolas-Jules), 16, rue Vivienne.

Rambaud (Émile-Jean-Marie), boulevard du Temple, 12.

Ramaeckers (Charles-Henri-Bruno), ingénieur en chef des chemins de fer de l'État Belge, à Bruxelles (Belgique).

Rancès (Frédéric), ✱, ingénieur en chef adjoint au directeur de l'exploitation des chemins de fer du Midi, rue d'Aviau, 27, à Bordeaux (Gironde).

Raspail (Émile-Jules), chimiste, rue du Temple, 14.

Raulin (Gustave-Laurent), rue de Bellechasse, 33.

Ravasse (Eugène), place La Fayette, 112.

Redon (Martial), faubourg des Casseaux, 1, à Limoges (Haute-Vienne).

Régel (de) (Philippe-Constant), ✱, à Lutzelhausen (Alsace).

Regnard (Louis-Paul-Antoine), ✪. rue Béranger, 6.

Regnault (Jules), ✱, impasse d'Amsterdam, 4.

Remaury (Henry), ✱, directeur des forges de Pompey, par Frouard (Meurthe-et-Moselle).

Renard (François-Nicolas), rue du Bac, 122.

Renard (Lucien), ✱, directeur de la Compagnie chaufournière de l'Ouest, rue Saint-Lazare, 94.

Retz (de) (Marie-Charles-Jean), chef du service des hauts fourneaux des forges et acieries de Firminy (Loire).

Revin (Jules-Henri-Victor), à Poix (Somme).

Revy (Jules-Jean-Hope), chef de la commission impériale des Açudes, à Cearia (Brésil).

Rey (Louis-Pierre-Félix), O. ✱, ingénieur chez M. Chevalier, constructeur de wagons, rue d'Auteuil, 52.

Reyjal (Gustave-Émile), rue Chevallier, 89, à Levallois-Perret.

Reymond (Francisque), ✱, entrepreneur, place de la Mairie, à Montbrison (Loire).

Reynaud (Charles), à Cette (Hérault).

Reynaud (Georges), associé de la maison Oudin Dubois, à Betheneville, par Pont-Faverger (Marne).

Ribail (Xavier), ✱, ingénieur de la traction au chemin de fer de l'Ouest, rue du Chemin-de-Fer, 35.

MM. RIBERA (Geotro), inspecteur du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).

RIBOURT (Léon-Eugène-Isidore), à Altorf-Uri (Suisse).

RICARD (Paul), chef d'atelier de la maison L. Peupier, 50, rue d'Angoulême.

RICH (Paul-Henri-J.), rue Denfert, 23.

RICHARD (Jean-Louis), ✱, rue Billault, 31.

RICHE (Antoine-Joseph), directeur des forges et laminoirs de l'Alliance, à Charleroi (Belgique).

RICHEMOND (Émile-Louis), ✱, rue Malesherbes, 38.

RICHESKI (Sigismond) (Rzyszczewski), administrateur de la banque d'Escompte, rue Nowezielna, 36, à Varsovie (Pologne).

RICHOU (Georges-René-Pierre), ✱, avenue Joséphine, 44.

RIDDER (de) (Pierre-Octave), avenue du Coq, 6.

RIGOLLOT (Ernest), à la gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.

ROBIN (Albert), place d'Iéna, 3.

ROCACHÉ (Louis-Jules), rue de la Roquette, passage Sainte-Marie, 12.

ROCKLIFF (James), 97, High street, Portsmouth (Angleterre).

ROGNETTA (François-Benoît), O. ✱ ✠ ✱, 1, via S. Filippo, à Turin (Italie).

ROGÉ (Xavier), maître de forges, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).

ROGER (Paul-Georges), rue Laffitte, 36.

ROLIN (Eugène), constructeur, à Braine-le-Comte (Belgique).

ROLIN (François-Étienne), à Guelma (Algérie).

ROMME (Alfred), ✱, à Saint-Quentin (Aisne).

RONNA (Antoine), O. ✱ ✱, secrétaire du Comité de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, boulevard des Italiens, 21.

RONSSIN-MOREL (Théodore-Victor), rue Saint-Antoine, 110.

ROQUES (Adrien-Jacques), rue des Menuets, 5, à Bordeaux (Gironde).

ROSIÉS (Aristide), rue Clapier, 6, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

ROUART, constructeur, ✱, boulevard Voltaire, 137.

ROUCHÉ (Albert), 20, rue Neuve-des-Capucines.

ROUGET (Paul-Frédéric), directeur de l'usine à gaz de Brest, rue de Maubeuge, 18.

ROUIT (Henry), ingénieur de la Compagnie du Médoc, rue de la Course, 7, à Bordeaux (Gironde).

ROUSSEAU (Louis), directeur des ateliers de la Compagnie pour la construction de matériel de chemin de fer, rue Grétry, 25, à Bruxelles (Belgique).

ROUSSEAU (Jules), Petite-Rue-des-Augustins, 2, à Amiens (Somme).

ROUSSEL (Henri-Léon-Joseph), sous-directeur de la Société industrielle et de commerce, à Odessa (Russie).

MM. Routkowski (Mielchislas-Joseph), Iwanovska, 15, à Saint-Pétersbourg (Russie).

Roy (Edmond), ✱, rue de Luxembourg, 10.

Roze (Eugène), fabricant de toiles cirées, rue du Château-d'Eau, 60.

Rozycki (Stanislas), au Creuzot, rue Montchanin, 11 (Saône-et-Loire).

Rubin (Arthur), rue de Douai, 3.

Rudler (Henri-Alexandre), avenue du Château, 10, à Bellevue (Seine-et-Oise).

Rummens (Jossé-Alphonse-Prosper), directeur de la Société Nicaise, Houdeng Aimeries, chaussée de Sorgmes, 134 (Belgique).

Ruolz (de), O. ✱ G. O. ✱ C. ✱, inspecteur général des chemins de fer, rue du Canivet Saint-Sulpice, 3.

Rycerski (Félix-Lucien-Antoine), à Konigshütte (Haute-Silésie, Allemagne).

S

MM. Sadoine (Eugène), O. ✱, directeur général de la Société John Cockerill, à Seraing (Belgique).

Sage (Paul-Romain), rue du Chevaleret, 39 et 41.

Saint-James (Charles), inspecteur de la voie au chemin de fer du Nord, à Tergnier (Aisne).

Salesse (Paul-Alphonse), ingénieur en chef de la traction à Périgueux (Dordogne).

Salin (Auguste-Jean), maître de forges, à Dammarie-sur-Sault (Meuse).

Salleron (Ernest), architecte, à Sens (Yonne).

Salomon (Louis-Antoine-Marie), rue Pajol, 22.

Salomon (Georges), ✱, rue Lavoisier, 1.

Salvetat (Alphonse), ✱ ✠ ✱, chef des travaux chimiques, à la manufacture nationale de Sèvres (Seine-et-Oise).

Sandberg (Christer-Geter), ✱ ✱, 19, Great George street, Westminster, S. W., à Londres (Angleterre).

Sautereau (Gustave), rue Rochechouart, 56.

Sautter (Louis), ✱, constructeur de phares lenticulaires, avenue de Suffren, 26.

Sauvan-Deleuze (Louis), boulevard Beauséjour, 37, à Passy.

Savalle (Désiré), ✱, constructeur, avenue du bois de Boulogne, 64.

Savy (Léopold), ingénieur, avenue de Villiers, 101.

Scellier (Henri), fondeur, à Voujaucourt, près Montbéliard (Doubs).

MM. SCHABAVER (François), constructeur de machines, à Castres (Tarn).
SCHAECK (Augustin-Clément), quai de Jemmapes, 84.
SCHEIDECKER (Léon), à Lutzelhausen (Alsace).
SCHALLER (Joseph), rue Neuve-des-Mathurins, 50.
SCHIRMER (Eugène-Charles), à la manufacture de glaces de Manheim (Grand-Duché de Bade)
SCHIVRE (Jean-Pierre), directeur des ateliers du Grand-Hornu, près Mons (Belgique).
SCHIVRE (Gustave-Georges-Henri), ingénieur aux ateliers du Grand-Hornu (Belgique).
SCHLINCKER (Michel-A.), maître de forges, à Creutzwald (Lorraine).
SCHLUMBERGER (Hartmann), N., à Guebwiller (Alsace).
SCHMERBER (Jean), à Tagolsheim, par Altkirch (Alsace).
SCHMID (Albert), à Zurich (Suisse).
SCHMIDT (Maximilien-Frédéric), ✱, constructeur, Gisela strass, 6, à Vienne (Autriche).
SCHMITZ (Eloi-Nicolas), attaché au service des machines à la Compagnie du gaz, rue de Dunkerque, 24.
SCHMOLL (Adolphe), ✱, entrepreneur de travaux publics, 10, Wollzeile, I Bezirk, à Vienne (Autriche).
SCHNEIDER (Henri), directeur du Creusot (Saône-et-Loire).
SCHWAB (Fernand), rue des Chanoines, 10, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
SCHWENDNER (Al.), rue Sainte-Catherine, 68, à Odessa (Russie).
SEBILLOT (Amédée), directeur de l'usine métallurgique de Nikel, route de la Révolte, 4, à Saint-Denis.
SÉDILLE (Paul), ✱, 28, boulevard Malesherbes.
SEEBOLD (Lothaire-François), C. ✱ O. ✱ ✱ ✱, 3, calle Estrafa, à Bilbao (Espagne).
SEILER (Albert-Louis), rue Martel, 17.
SELLE (DE) (Albert-Marie), ✱, membre du Conseil général des Basses-Alpes, professeur de minéralogie et de Géologie à l'École centrale, Château de Fontienne, par Forcalquier(Basses-Alpes); à Paris, avenue de Villiers, 5.
SEPRES (de) (Henri-Robert-Yves), 9, calle de Campomanes Tercero derecha, à Madrid (Espagne).
SEPULCHRE (Armand-Joseph), ingénieur, directeur des hauts fourneaux d'Aulnoye, à Aulnoye-les-Berlaimont (Nord).
SER (Louis), rue Soufflot, 21.
SÉRAFON, ✱, boulevard de Clichy, 22.
SÉRAPHIN (Charles-André), constructeur, faubourg St.-Martin, 172.
SERGUEEFF (Nicolas), ✱, rue Delaborde, 34.
SERMENT (Frédéric-Louis), rue de la Darse, 9, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
SEROT (Pierre-Augustin), à Vittel (Vosges).

MM. SERRES (de) WIECZFFINSKI (Auguste), ✻ ✻, directeur de la construction de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État, 16, Park Ring, à Vienne (Autriche).

SERVERAC (Jacques-Paul), constructeur de matériel roulant pour chemins de fer, boulevard Macdonald, 1.

SERVIER (Édouard), directeur de la Compagnie du gaz de Metz, rue Baudin, 21.

SEYRIG (Théophile), avenue Wagram, 147.

SHERMAN (John-Edwin), avenue Joséphine, 63.

SIÉBER, rue Trézel, 1, aux Batignolles.

SIEMENS (William), métallurgiste, rue Picot, 8.

SIMON (Édouard), directeur de filature, rue Meslay, 32.

SIMON (Henri), 7, Saint-Peters square, à Manchester (Angleterre).

SIMON (Gustave), au Creusot (Saône-et-Loire).

SIMONS (Paul), au Cateau (Nord).

SINGLY (de) (Paul), rue Philippe-de-Girard, 17.

SOMASCO (Charles), rue du Chemin-Vert, 42.

SOMZÉE (Léon-Henri-Mathieu), O. ✠ ✻, rue Royale, 217, à Bruxelles (Belgique).

SONOLET (Gustave-Auguste), rue Judaïque, 65, à Bordeaux (Gironde).

SORZANO DE TEJADA (Julio-Federico), rue Belliard, 145, à Bruxelles (Belgique).

SOULIÉ (Léon-Émile), avenue de Villiers, 96.

SOULIÉ (Émile-Léon), boulevard Malesherbes, 60.

SOUPEY (Henry), rue de l'Université, 16.

SPARRE (le comte) (Pierre-Ambjor), O. ✻ ✻, ingénieur-mécanicien, place de la Madeleine, 3.

SPÉE (Alphonse-Marie-Joseph), ✻, (Ixelles), rue de la Concorde, 23, à Bruxelles (Belgique).

STAPFER (Daniel), constructeur-mécanicien, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

STEENS (Émile), chaussée Vleurgat, 89, à Bruxelles (Belgique).

STEINHEIL (Georges-Henri), rue Payenne, 13.

STILMANT (Philippe-Louis-Aimé), constructeur de freins, rue de Rome, 129.

STOCLET (Victor), avenue Louise, 73, à Bruxelles (Belgique).

STUDER (Henry), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 27.

SUC (Étienne-Arsène), boulevard de la Villette, 50.

SULZBERGER-ZIEGLER (Henry), constructions en bois, à Winterthur (Suisse).

T

MM. TABARY (Édouard), chef de section aux chemins de fer de l'État, à Chef-Boutouve (Deux-Sèvres).

TAILLANDIER (François), chef de section au chemin de fer de Ciudad-Real à Badajoz, à Ciudad-Real (Espagne).

TAILLARD (Ernest), O. ✻ ✻ ✻, rue de Provence, 46.

TARANTINI (Serafino), 13, via Carrozzieri, à Monteoliveto, à Naples (Italie).

TARDIEU (Henri-Ernest), rue Neuve, 17, à Compiègne (Oise).

TAY (Joseph), calle del Duque de la Victoria, 10, à Barcelone (Espagne).

TERRIER (Paul-Jacques-Victor), administrateur directeur de la Compagnie des travaux publics, rue de Provence, 56.

TESSE (Paul), rue de Maubeuge, 18.

TESSIE DU MOTAY (Cyprien-Marie), boulevard de Courcelles, 118.

TÉTARD (François), à la gare de l'Ouest, boulevard Montparnasse.

THAUVIN (Pierre-Jules), à Pise-Fontaine près Triel (Seine-et-Oise).

THEURKAUFF (Achille-Henri), boulevard du Palais, 11.

THIBAUDET (James-Nicolas), à l'usine à gaz, à Arenc, banlieue de Marseille (Bouches-du-Rhône).

THIBAULT (Louis-Marie), fabricant de papiers, à Troyes (Aube).

THIRION (Antoine-Romain), constructeur-mécanicien, rue de Vaugirard 147.

THIRION (Charles), ✻, boulevard Beaumarchais, 95.

THOMAS (Jules-Émilien), boulevard Central, 17, à Bruxelles (Belgique).

THOMAS (Pierre), boulevard du Chemin de fer, 11, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

THOMAS (Georges-Marie), rue Tronchet, 31.

THOMAS (Léon), fabricant de produits chimiques, quai de Javel, 83.

THOMAS (Max), rue de Grenelle-Saint-Germain, 86.

THOMASSET (Henri), ✻, 25, boulevard Montparnasse.

THOUIN (Charles), ✻ ✻ ✻, ingénieur du mouvement au chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.

THOYOT (Joseph), ✻, rue de Chezy, 41 *ter*, à Neuilly.

THURSTON (Robert), Hoboken, 280, Bloomfield street, New-Jersey (États-Unis d'Amérique).

TIQUET (Pierre-Maurice-Gustave), maître de forges, à Vesoul (Haute-Saône).

MM. TISSERON (J.-P.-Léon), 19, rue de l'Université.
TOURGON (Joseph-Barthélémy), à Bagnols-sur-Ceze (Gard).
TOURNADRE DE NOAILLAT (Lucien-H.-Amable), ✱, rue Gozlin, 31.
TOURNELLES (des) (Ferdinand-Arthur-Alexandre), 9, boulevard Montparnasse.
TRÉLAT (Émile), O. ✱, rue d'Enfer, 17.
TRÉMEAU (Alexandre-Henry-Auguste), aux forges de Bigny (Cher).
TRESCA (Henri), O. ✱ ✱ ✱ ✱, sous-directeur au Conservatoire des Arts-et-Métiers, rue Saint-Martin, 292.
TRESCA (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
TRESCA (Gustave-Jules), rue Saint-Martin, 292.
TRIDON (Victor), 8, Humboldt-Strasse, à Dresde (Saxe).
TRITZ (Paul), cité de l'Alma, 7.
TRONCHON (Jean-Anatole), impasse Mairet, 6, à Meaux (Seine-et-Marne).
TURCK (Michel), rue Bernouilli, 11.

U

MM. UBAGS (Théophile), faubourg Saint-Honoré, 205.
UHAGON (Pierre-Pascal), ingénieur de la Société minière et métallurgique de Linares, province de Jaen (Espagne).
ULENS (Léon), rue du Trône, 8, à Bruxelles (Belgique).
URBAIN (Victor), boulevard Beaumarchais, 30.
URBAN (Maurice-Pierre), ingénieur en chef, directeur de la traction et du matériel du chemin de fer du Grand-Central Belge, rue de la Loi, 102, à Bruxelles (Belgique).

V

MM. VAESSEN, (H.-J.), C. ✱ ✱, O. ✱, directeur général de la Société Saint-Léodard, à Liége (Belgique).
VAILLANT (Alcide-François-Xavier), avenue de Villiers, 110.
VALENSI (Raymond), avenue de l'Alma, 69.
VALENTIN (Léopold), ✱ ✱, rue Galilée, 6, à Bruxelles (Belgique).
VALLEZ (Alphonse), rue de Paris, 121, à Valenciennes (Nord).

MM. VALLOT (Guillaume-Marie-Henri), place des Perchamps, 2, à Auteuil.

VALTON (Ferdinand), ✻, directeur de la Société des fers et aciers, rue de Londres, 44.

VANDEL (Émile), maître de forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).

VANDERHEYM (Eugène-Napoléon), directeur des forges d'Urville (Haute-Marne).

VANDESMET (Félix), rue Bizet, 5.

VARLET (Ernest-Joseph), directeur de la Société des Rapides du Rhône, quai Saint-Antoine, 32, à Lyon (Rhône).

VASSET (Louis), boulevard du Port, à Soissy (Seine-et-Oise).

VAUTHIER, place Breda, 13.

VAUTIER (Émile), administrateur de l'usine à gaz, quai Saint-Antoine, 30, à Lyon (Rhône).

VAUVILLIER (Laurent-Louis), secrétaire de la direction générale des chemins de fer portugais, à Lisbonne (Portugal).

VÉE (Léonce-Émile), ingénieur expert près les tribunaux, rue de Rome, 61.

VÉGA (Domingo), rue de Monceau, 72.

VEGNI (Angelo), C. ✻ ✻ ✻, via San Nicolo, 131, à Florence (Italie).

VELLUT (Félix-Léon-Célestin), ✻, directeur des ateliers de MM. Rolin et Cie, à Braine-le-Comte (Belgique).

VÈNE (Philippe), à Lapoularié, près Castres (Tarn).

VERDIÉ fils (Jean-Eugène), administrateur délégué des forges et aciéries de Huta-Bankowa, à Dombrowa (Pologne russe).

VERGNES (Paul-Eugène), chef de service de la construction de la ligne d'Angoulême à Limoges, avenue des Ternes, 51, à Passy.

VERGNOL (Joseph-Camille-Paul), ingénieur du chemin de fer de Busigny à Hirson, à la Capelle (Aisne).

VÉRITÉ (Auguste-Lucien), ✻, horloger, à Beauvais (Oise).

VERNIER (Raoul), rue Pigalle, 5.

VERRIER (Charles-Joseph-Auguste), chef des chantiers et ateliers de Bacalan, rue de Lormon, 5, à Bordeaux (Gironde).

VERRINE (Louis-Justin), ingénieur du service municipal de la ville de Caen, rue des Carmélites, 38, à Caen (Calvados).

VESTRAET (Louis), rue des Carrières, 60, à Charenton-le-Pont (Seine).

VIAL (Charles), aux mines de Mercadal, près Torrelavega, province de Santander (Espagne).

VIDARD (Jean-Baptiste), inspecteur du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Ouest, rue Nollet, 73.

VIEILLARD (Jules-André-Albert), ✻, fabricant de faïences et porcelaines, quai de Bacalan, 77, à Bordeaux (Gironde).

VIELLIARD (Léon-Jean), rue La Fayette, 211.

MM. VIGAN (Eugène-Médéric), à l'usine à gaz, cours de Vincennes, 45.
VIGNIER (Pierre-Auguste), ✻, ingénieur de la voie au chemin de fer de l'Ouest, rue La Condamine, 98, à Batignolles.
VIGREUX (Léon), rue de Birague, 16.
VILLARD (Théodore), boulevard Malesherbes, 138.
VILLEMER (Armand), ingénieur-adjoint à la direction du chemin de fer du Nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).
VILLERMÉ (Gustave), directeur de la verrerie de Saint-Gorgon, à Anor (Nord).
VINCENT (Charles), filateur, à Senones (Vosges).
VINÇOTTE (Auguste-Henri), cité Trévise, 5.
VINIT (Pierre-Arsène), inspecteur du matériel au chemin de fer de Lyon, rue de Greffulhe, 9.
VIOLET (Albert-Léon), rue du Théâtre, 80.
VIOLET (Adolphe-Charles-Henri), ✻ ✻, directeur des usines de Belvoye, près Dôle (Jura).
VIOLETTE (Louis-Antoine), chez M. Joret et C[ie], rue Taitbout, 80.
VIOLLET-LE-DUC père (Eugène-Emmanuel), O. ✻ ✻, architecte, rue Condorcet, 68.
VIRON (Charles-Louis), chef de section au chemin de fer d'Orléans, à la gare de Tours (Indre-et-Loire).
VITALI (Philippe), entrepreneur, rue Mogador, 8.
VIVIEN (Armand), chimiste, rue Sainte-Anne, 54, à Saint-Quentin (Aisne).
VLASTO (Ernest), rue Fontaine-Saint-Georges, 30.
VOJACEK (Ladislas), à Smichow (en Bohême).
VORUZ aîné, constructeur,, ✻ à Nantes (Loire-Inférieure).
VUIGNER (Adrien), rue de Lille, 46.
VUIGNER (Henri-Louis), rue de l'Université, 30.
VUILLEMIN (Émile), ✻, directeur des Mines d'Aniches (Nord).
VUILLEMIN (Louis-Charles), ✻ O. ✻ ✠ ✻, ingénieur-conseil du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est, rue de Vigny, 1.

W

MM. WAHL, ✻, rue du Quatre-Septembre, 16.
WALKER (William-Thomas), west Hill Highgate, à Londres (Angleterre).
WALLAERT (Auguste), boulevard de la Liberté, 23, à Lille (Nord).
WALTHER-MEUNIER (Hermann-Philippe-Frédéric), rue de la Bourse, 6, à Mulhouse (Alsace).

MM. WATSON (Joseph-Jean-Guillaume), C. ✱. 3, Babbicombe Jorquay S. Devon (Angleterre).

WATSON (William), Boston U. S. A., 107, Malborough street.

WATTEVILLE (de) (Charles-Louis), rue de la Villette, 21.

WEIBEL (Jules-Henri), constructeur d'appareils de chauffage, Tranchées-de-Rive, rue de Malagnou, à Genève (Suisse).

WEIL (Frédéric), O. ✱, chimiste expert, rue des Petites-Écuries, 13.

WENDEL (de) (Paul-François-Henri), maître de forges, à Moyeuvre (Alsace-Lorraine).

WEST (Auguste-Émile), chef des travaux au laboratoire d'essais à la Cie des chemins de fer de l'Ouest, rue Bonaparte, 13.

WEYHER (Charles-Louis), ✱, constructeur de machines, route d'Aubervilliers, 50, à Pantin (Seine).

WHALEY (Georges), ingénieur des ateliers des chemins de fer de l'Ouest, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).

WILLEMS (Joseph), rue du Progrès, 36, à Bruxelles (Belgique).

WISSOCQ (de) (Alfred), ingénieur de l'atelier central du chemin de fer du Nord, rue Flachat.

WOESTYN (Alphonse-Sevin-Cornill), fabricant de sucre, boulevard Haussmann, 80.

WOHLGUEMUTH, ingénieur du draguage du Port, Rambla de Cataluna, 36, à Barcelone (Espagne).

WOYCIECHOWSKI (Lucien), rue d'Ameroal, 1, à Nancy (Meurthe).

WURGLER (André), rue de Rome, 66.

X Y Z

M. XAVIER (Jean), rue de Châteaudun, 35.

MM. YVERT (Léon), ingénieur expert, rue Joubert, 9.

YVON-VILLARCEAU (Antoine), ✱ ✱ ✱, membre de l'Institut, avenue de l'Observatoire, 18.

MM. ZIEGLER (Jean-Jacques), rue Rembrandt, 1.

ZIMMER (Désiré-Alfred) rue Stevin, 11, à Bruxelles (Belgique).

ZSCHOKKE (Conradin), rue du Tunnel, à Valence (Drôme).

Membres Associés.

MM. Agache (Édouard), ✻, filateur, à Lille (Nord).

André (Nicolas-Oscar), constructeur de combles métalliques, rue Charles-Laffitte, 49, à Neuilly-sur-Seine.

Barbedienne, C. ✻, bronzes d'art, boulevard Poissonnière, 30.

Barbeyrac (de) (Gaston), rue Richelieu, 99.

Belin (Alphonse), à Brie-Comte-Robert (Seine-et-Marne).

Bischoffsheim (Raphaël), banquier, rue de Gramont, 27.

Bizot (Emmanuel-Eugène), ✻, rue de la République, 7, à Lyon (Rhône).

Blanchet (Aristide-Paul), à Henrichemont (Cher).

Borrel-Fontany (Amédée-Philippe), horloger-mécanicien, rue Neuve-des-Petits-Champs, 47.

Bougarel (Frédéric), garde-mine, rue de Dunkerque, 24.

Brichaut (Auguste), O. ✻ ✠ ✠ ✻, rue Saint-Paul, 9.

Chabrier (Fortuné), 36, rue Neuve-des-Mathurins.

Chaize (L.-El.), administrateur délégué de la Compagnie des Bateaux-Omnibus, route de Versailles, 125.

Chameroy (Edme-Augustin), rue d'Allemagne, 196.

Champonnois (Hugues), O. ✻, presses continues, rue Neuve-des-Petits-Champs, 45.

Chateau, rue de Neuilly, 25, à Clichy (Seine).

Chavassieu (Jean-Baptiste), sénateur, rue de l'Université, 22.

Claudin (Henri), ✻, armurier, boulevard des Italiens, 38.

Collin (Armand), ✻, horloger, rue Montmartre, 118.

Courant (Albert-Bernard), filateur au Havre (Seine-Inférieure).

Coutant (Louis-Eugène), maître de forges, rue Nationale, à Ivry (Seine).

Coutelier (Edmond-Jules), fabricant d'ornements estampés, boulevard Richard-Lenoir, 74.

Coutin (Jules-Henri), rue de Rome, 11.

Deghilage (Alexandre-Louis), quai Voltaire, 25.

Dehaynin (Camille), faubourg Saint-Martin, 12.

Deny (Louis), ✻, constructeur, rue Saint-Sabin, 58.

Desouches (Arthur-François-Constantin), constructeur de voitures, avenue des Champs-Élysées, 40.

Dietz-Monnin (Charles-Frédéric), O. ✻, directeur des ateliers de Beaucourt, associé de MM. Japy frères, rue du Château-d'Eau, 7.

Dorémieux (Ad.), maître de forges, rue Eugène-Delacroix, à Passy.

MM. Doumerc (Auguste-Camille-Jean), rue de Copenhague, 10.
Dufay (Auguste), rue Neuve-Saint-Merri, 12.
Dulac (Louis-Simon), 74, rue des Boulets.
Du Sartel (Octave-Charles-Waldemar), rue La Fayette, 18.
Farcot (Augustin), à l'usine Joseph Farcot, avenue de la Gare, 15, à Saint-Ouen (Seine).
Fauquet (Octave), ✻, filateur, à Oissel (Seine-Inférieure).
Ferron (Alexandre), rue des Gravilliers, 11.
Foucart (Charles), rue Baudin, 24.
Franck (Maurice), directeur des salines de Dax, rue Baudin, 21.
Galland (Nicolas), O. ✻, avenue de Villiers, 101.
Gariel (Ernest), fabricant de ciment de Vassy, boulevard Haussmann, 85.
Garnier (Paul-Casimir), fabricant d'horlogerie, rue Taitbout, 16.
Géneste (Eugène), ✻ C. ✻ ✻, constructeur, rue du Chemin-Vert, 42.
Gérard (Gustave-Eugène), rue Condorcet, 70.
Gévelot (Jules), O. ✻, député de l'Orne, rue de Clichy, 10.
Giquel (Prosper), ✻, directeur de l'Arsenal, à Fou-Tchéou, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 27.
Giroud (Henri), fabricant de régulateurs, rue des Petits-Hôtels, 27.
Gondolo (Émile), horloger, avenue de l'Opéra, 25.
Gueldry (Victor-Henri), gérant des établissements de la Compagnie des forges d'Audincourt, rue Amelot, 64.
Hermann-Lachapelle (Jules), constructeur, faubourg Poissonnière, 144.
Huard (Paul), à Tours (Indre-et-Loire).
Huguin (Étienne-Jean), rue de la Tour, 60, à Passy.
Hureau de Villeneune (Abel), directeur du journal *l'Aéronaute*, rue Lafayette, 95.
Hurtu (Auguste), rue Saint-Maur-Popincourt, 54.
Jacquand (Antoine), fabricant de produits chimiques, quai de la Percherie, à Lyon (Rhône).
Jamin (Paul), maître de forges, à Eurville (Haute-Marne).
Jeantaud (Charles), carrossier, rue du Temple, 135.
Jullien (Alexandre), rue Sainte-Hélène, 8, à Lyon (Rhône).
Lavessière (Jules-Joseph), ✻, rue de la Verrerie, 58.
Lebaudy (Jules), raffineur, rue de Flandre, 19.
Le Cyre (Alfred), avenue Trudaine, 11.
Lefebvre Desurmont (Paul-Alfred), fabricant de vernis, rue de Douai, 103, à Lille (Nord).
Lemarchand (Edmond), à La Noulme (Seine-Inférieure).
Lemercier (le comte) (Anatole), O. ✻, président du Conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer des Charentes, rue de l'Université, 18.

MM. Lemoine (Auguste), O. ✱ ✱, administrateur de la Société du Crédit Mobilier, rue de la Pompe, 76.

Léon (Alexandre), armateur et maître de forges, cours du Chapeau-Rouge, 11, à Bordeaux (Gironde).

Lesseps (de) (Ferdinand), G. C. ✱ ✱ ✱, président de la Compagnie universelle du canal de Suez, rue Richepanse, 9.

Leverbe (Jean-Hilaire-Eugène), rue Pierre-Levée, 10.

Lissignol (Théodore), chef du service industriel de la Société générale, rue Neuve-des-Petits-Champs, 77.

Luchaire (Léon-Henri-Victor), constructeur d'appareils pour phares, rue Érard, 27.

Martellière (de la) (Camille-Alfred), ✱, rue Béranger, 21.

Martin (Auguste-Maximilien), fabricant de verreries et d'émaux, avenue de Paris, 275, à Saint-Denis.

Mason (Théodore), ✱ ✱ ✱, B. M., officier de marine des États-Unis, 4 West, 34 Street, à New-York (Amérique).

Méeus (Jules-Pierre-Louis-Félix), directeur du *Moniteur industriel*, boulevard Central, 46, à Bruxelles (Belgique).

Menier (Émile-Justin), O. ✱, député, avenue Van-Dyck, 5.

Menier (Henri), avenue Van-Dyck, 5.

Menier (Gaston), avenue Van-Dyck, 5.

Michelet (Hippolyte), O. ✱ ✱ ☆, chef de bataillon au 4e régiment du génie, à Grenoble (Isère).

Moyse (Maurice), C. ✱ ✱, secrétaire général de la compagnie des chemins de fer espagnols de Saragosse à Pampelune et Barcelone, boulevard Malesherbes, 72.

Muller (Alphonse), fondeur en cuivre, faubourg du Temple, 59.

Neveu (Étienne), rue Saint-Denis, 227.

Oeschger (Louis-Gabriel), ✱, marchand de métaux, rue Saint-Paul, 28.

Pelouze (Eugène-Philippe), ✱, membre du comité de la Compagnie parisienne du gaz, rue Condorcet, 42.

Penaud (Charles-Alphonse), rue Clapeyron, 15.

Pereire (Isaac), O. ✱ ✱, président du Conseil d'administration de la Société autrichienne impériale et royale, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.

Piat (Albert-Charles), fondeur mécanicien, rue Saint-Maur, 85 et 87.

Pimentel (Joaquim-Goldino), rue du Roi, 16, à Anvers (Belgique).

Plichon (Édouard-Louis), fondeur en fer, rue du Chemin-Vert, 96.

Poirrier (Alcide-François), ✱, fabricant de produits chimiques, avenue de Messine, 10.

Renouard de Bussière (le baron Alfred), directeur de la Monnaie, quai Conti, 11.

Reverchon (Honoré), directeur des forges d'Audincourt (Doubs).

MM. Robert de Beauchamp (Louis-Évariste), C. ✵, rue de Rovigo, 7.
Robert (Jules), ✵ ✵, agriculteur à Seelowitz Moravie (Autriche).
Robin (Théodore), rue François Ier, 1.
Rondeau (Henri), rue de Crosne, 20, à Rouen (Seine-Inférieure).
Simon (Louis-Hyacinthe), ✵, maître de forges, à Ars-sur-Moselle (Lorraine).
Solbillet (Marie-Michel-Paul), rue Monjardin, 8, à Nîmes (Gard).
Sommier (Alfred), rue de Ponthieu, 57.
Viguerie (Ernest), au Château de L'Espinet-Saint-Ague, banlieue de Toulouse (Haute-Garonne).
Wyse (Louis-Lucien-Napoléon-Bonaparte), ✵, lieutenant de vaisseau, boulevard Malesherbes, 117.
Zbyszowski (Ladislas), rue Saint-Dominique, 190.
Zeller (Constant), à Ollwiller, par Soultz (Haute-Alsace).

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 20.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest, rue d'Amsterdam, 3.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, rue de Londres, 8.
M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, rue Saint-Lazare, 88.

Secrétaire-Archiviste.

M. Husquin de Rhéville ✵, cité Rougemont, 10.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER ET FÉVRIER 1879)

N° 51

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Gauthier-Villars, éditeur : 1° un exemplaire du *Traité de télégraphie électrique*, par du Moncel ; 2° un exemplaire du *Cours de Mécanique*, par E. Bour, 3 vol. et deux atlas ; 3° un exemplaire des *Tables des surfaces de déblai et de remblai*, par Lefort ; 4° un exemplaire des *Tables de calculs de stabilité*, par Lefort ; 5° un exemplaire du *Cours de Mécanique générale*, par Resal, 4 vol. ; 6° un exemplaire de l'*Exposition de la Théorie mécanique de la chaleur*, par Hirn, 2 vol.

De M. Émile Vuillemin, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur les *Mines de houille d'Aniche*.

De M. Évrard. membre de la Société, un exemplaire de son *Traité pratique sur l'Exploitation des Mines*.

De M. A. de Oliveira, ingénieur civil, un exemplaire de son volume intitulé : *Caminhos de fero no Brazil*, *estudos praticos e economicos*, et 4 numéros du journal *O Phonographo*.

De M. Duteil, membre de la Société, un exemplaire de son volume sur la *Métallurgie du fer à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Dorion, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur le *Matériel des charbonnages à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Berton, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur les *Chemins de fer dans le département de Seine-et-Marne*.

De M. Penaud, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur ses *Recherches sur la résistance des fluides*.

De M. Verrine, membre de la Société, un exemplaire de son étude sur les *Architectes et Ingénieurs d'après le programme de l'Académie des beaux-arts*.

De M. Vauthier, membre de la Société, deux exemplaires d'une lettre adressée au Ministre des Travaux publics sur le projet de *Réorganisation des chemins de fer français*.

De M. Mantégazza, membre de la Société : 1° un exemplaire d'un recueil d'études intitulé *Applications pratiques de la théorie des systèmes élastiques ;* 2° Un exemplaire d'un mémoire de l'ingénieur Castigliano, intitulé : *Nuova teoria intorno all'equilibrio dei sistemi elastici*.

De M. Cialdi, Ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Il*

porto di Genova e il voto del Consiglio superiore dei lavori publici innanzi alla scienza ed all'arte.

De M. Finet, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur l'*Exploitation des canaux et voies navigables.*

De M. Armengaud aîné, membre de la Société, un exemplaire de son étude sur les *Moulins à farine, à l'Exposition.*

De M. Krémer, membre de la Société, une note sur les expériences faites par M. Verderber, Inspecteur général des chemins de fer de Hongrie sur la suppression de la *boîte à feu des locomotives et remplacée par une boîte à feu en matériaux réfractaires.*

M. de Wershoven, Ingénieur, un exemplaire de son *Vocabulaire technique Français-Allemand.*

De M. Thomas Achille, Ingénieur, une brochure intitulée : *L'Art de se diriger la nuit en campagne.*

De M. Vigreux, membre de la Société, un exemplaire de sa *Conférence sur la Minoterie.*

De M. Abt, Ingénieur, une brochure intitulée : *Statistik der Locomotiven, Dampfkessel und Dampfmachinen, der Schweiz,* 1877.

De M. Chateau, membre de la Société : 1° un exemplaire de son étude sur *L'Huile de pied de mouton ;* 2° un exemplaire de son étude pratique pour servir à l'histoire chimique du *Collage et de la charge du papier.*

De M. Jeanson, membre de la Société : 1° un exemplaire de son rapport sur un nouveau *Générateur d'air comprimé pour souffleries et machines à air chaud ;* 2° une brochure intitulée : *Réflexions sur les unités Dynamiques du système métrique.*

De M. Th. Belpaire, membre de la Société, un exemplaire de ses *Tables pour le calcul de la force des machines à vapeur.*

De M. Hulewicz, Ingénieur, une brochure sur les *Expériences analytiques et tables des moments d'inertie et des moments résistants des sections à double T.*

De M. Vauthier, membre de la Société, un exemplaire sur le programme de M. de Freycinet, *Projet de réorganisation des chemins de fer Français.*

De M. Heinercheidt, Ingénieur, un exemplaire de sa brochure sur l'*Industrie du fer et les transports à bon marché en Belgique.*

De M. Lantrac, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure

sur les *Considérations sommaires sur l'état des constructions métalliques à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Faliès, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur le nouveau *Projet de loi des chemins de fer d'intérêt local.*

De M. Delesse, Inspecteur-général des mines, un exemplaire de sa notice sur *les Titres scientifiques.*

De M. Gaune, membre de la Société, un exemplaire de son *Projet de Caisses d'épargne scolaire.*

De M. Douau, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur le *Développement des chemins de fer français et sur les lois qui les régissent.*

De M. Cotard, membre de la Société, un exemplaire de sa communication faite à la Société de Géographie sur l'*Aménagement des eaux dans ses rapports avec la géographie.*

De M. Casalonga, membre de la Société, un exemplaire de la *Nouvelle loi espagnole sur les patentes d'invention.*

De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, une brochure sur l'*Établissement des arches de pont, réalisant le maximum de stabilité.*

De M. Contamin, membre de la Société, un exemplaire de son *Cours de résistance appliquée.*

De M. Chabrier, membre de la Société, un exemplaire de sa *Conférence sur les chemins de fer sur routes, faite au palais du Trocadéro, le* 24 *septembre* 1878.

De M. Jeanson, membre de la Société, un exemplaire de son *Annuaire des Mines et de la Métallurgie française.*

De M. Leroy, ingénieur, un exemplaire de son *Traité pratique des machines locomotives avec atlas.*

De M. Paul Marle, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur les *Fours à feu continu chauffé au gaz ou au combustible solide.*

De M. Francq, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur sa *Locomotive sans foyer, appliquée aux Tramways et aux Chemins de fer sur routes*, et deux photographies.

De M. Bougarel, membre de la Société, un exemplaire de ses *Applications manométriques.*

De M. Meyer, membre de la Société, un exemplaire d'une notice de sa *Locomotive à deux trains attelés de six roues couplées chacun.*

De M. Hignette, membre de la Société, un exemplaire de la *Revue universelle, le Commerce et l'Industrie.*

Académie royale des Lincei, son bulletin.

Academia di Scienze, Lettere ed Arti, son bulletin.

Academy américan of arts and sciences, son bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne.

Annales industrielles, par Cassagne.

Annales des ponts et chaussées.

Annales des mines.

Annales du Génie civil.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.

Annales de la construction (Nouvelles), par Oppermann.

Annales des chemins vicinaux.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liège, son bulletin.

Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, son bulletin.

Association des Ingénieurs industriels de Barcelone, son Bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine.

Canadian Journal of science, litterature, and history.

Chronique (La) *industrielle*, Journal technologique hebdomadaire.

Comité des forges de France, son bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Courrier municipal (Journal).

Dingler's Polytechnisches (*Journal*).

Écho Industriel (Journal).

Économiste (L') (Journal).

Encyclopédie d'architecture.

Engineer (*The*) (Journal).

Engineering (Journal).

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago).

Gazette des Architectes (La).

Gazette du Village (La).

Institution of civil Engineers, leurs *Minutes of Proceedings.*

Institution of Mechanical Engineers, son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, leurs *Transactions.*

Iron of science, metals et manufacture (Journal).

Iron and Steel Institute (*The Journal of The*).

Journal d'Agriculture pratique.

Journal des Chemins de fer.

Houille (*La*) (Journal).

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, leur bulletin.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, son bulletin.

Mondes (*Les*) (Revue).

Moniteur des chemins de fer (Journal).

Moniteur industriel belge (Journal).

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture (Journal).

Moniteur des travaux publics (Journal).

Of the American Society of Civils Engineers Journal.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Journal).

Politecnico (*Il*) *Giornale dell' ingegnere Architetto civile ed industriale.*

Portefeuille économique des machines, par Oppermann.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, leur bulletin.

Propagateur (*Le*) *de l'Industrie et des Inventions* (Journal).

Réforme économique (Revue).

Revue métallurgique (*La*) (Journal).

Revue des chemins de fer et des progrès industriels.

Revue maritime et coloniale.

Revue d'architecture.

Revista de obras publicas.

Revue des Deux-Mondes.

Revue horticole.

Revue générale des chemins de fer.

Revue technique polonaise.

Revue universelle des mines et de la métallurgie.

Revue des Industries chimiques et agricoles.

Semaine des constructeurs (*La*) (Journal).

Semaine financière (Journal).

Société de Physique, son bulletin.

Société of télégraph Engineers (Journal of the), leur bulletin.

Société des Ingénieurs anglais, leurs *Transactions.*

Société industrielle de Reims, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société industrielle de Mulhouse, son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, son bulletin.

Société d'encouragement, son bulletin.

Société de géographie, son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, son bulletin.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, son bulletin.

Société scientifique industrielle de Marseille, son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, *Revue périodique.*

Société industrielle de Rouen, son bulletin.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, son bulletin.

Société des Études coloniales et maritimes, son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de janvier :

MM. Artus, présenté par MM. Armengaud aîné fils, Tresca (H.) et Wurgler.
Barthélemy, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Bataille, présenté par MM. Mallet, Marché et Mors.
Bocquin, présenté par MM. Carimantrand, Jordan et Love.
Crouau, Demimuid, Giroud et Muller (E.).
Finet, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Gallais, présenté par MM. Chabrier, E. Muller et Périssé.
Guérin, présenté par MM. Fortet, Herpin et Revin.
Lesueur, présenté par MM. Bandérali, Brüll et Cotard.
Maréchaux, présenté par MM. Casalonga, Chrétien et Lanier.
Mignot, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Routkowsky, présenté par MM. Mallet, Marché et Mors.
Serot, présenté par MM. Couderc, Millet et Moreau (Aug.).
Studer, présenté par MM. Boulet, Faverger et Gautier.
Vernier, présenté par MM. Hinstin, Ponsard et Sergueeff.

Au mois de février :

MM. Biver, présenté par MM. Bonneville, Biver et Clémandot.
Fillon, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Girardin, présenté par MM. Desgrange, Jordan et Richard.
Montandon, présenté par MM. Brüll, Jordan et Orsat.
Philippon, présenté par MM. Hallopeau, Rey et Vallot.
Przewoski, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Molinos.

RÉSUMÉ
DES
PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
DU
1er BULLETIN DE L'ANNÉE 1879

Séance du 10 Janvier 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

M. TRESCA ouvre la séance à huit heures et demie.

Pour clore l'exercice 1878, nous avons trois procès-verbaux à adopter, le procès-verbal du 22 novembre et ceux des 6 et 20 décembre.

M. HAMERS fait observer que M. Leloutre est d'avis que la réponse à M. Hirn, telle qu'elle a été insérée dans le procès-verbal du 20 décembre, ne traduit pas suffisamment ce qu'il a dit :

M. TRESCA répond que cette circonstance l'oblige à donner quelques explications. J'ai reçu une lettre de M. Leloutre, par laquelle il se réserve de faire quelques observations sur le procès-verbal. D'après mon opinion, il n'en pourrait être admis ni pour le présent, ni pour l'avenir.

Il y avait dans le rapport de M. Leloutre un point de détail qui réclamait une modification. Il y était dit « que certaines parties du travail de M. Hirn étaient inexactes. » J'ai donné des instructions pour que le mot *inexact* disparaisse complètement de la rédaction de M. Leloutre. Je ne pouvais admettre que l'un des membres de la Société se servît d'une expression semblable à l'égard des travaux d'un savant étranger à la Société. Il y avait donc là une modification de convenance, qui ne saurait admettre aucune réclamation.

M. TRESCA prononce ensuite le discours suivant :

MESSIEURS,

Me voici arrivé au terme de ma mission et je viens vous rendre compte, au nom de mes collaborateurs et au mien, de la gestion des affaires de la Société pendant l'année 1878.

J'ai pensé que la liberté d'esprit avec laquelle toutes nos réunions ont eu lieu et toutes les discussions ont été conduites, m'autorisait à ne pas préparer un discours écrit, et à continuer la même forme de conversation parlée, pour vous entretenir des questions qui nous intéressent tous et qui vous sont assez familières pour qu'il soit inutile de les présenter sous une autre forme.

Vous vous rappelez que vous avez voulu qu'à l'occasion de l'Exposition de 1878, les affaires de la Société fussent remises entre les mains d'un comité, à la tête duquel se trouverait un président et quatre vice-présidents choisis parmi les anciens présidents de la Société. Ceci posé, la tâche était plus difficile par cela même que votre but était plus accusé, et nous allons examiner ensemble si, dans la mesure du possible, nous avons réussi à satisfaire vos désirs, et si, en définitive, nous laissons à nos successeurs la situation de la Société dans un état aussi favorable ou plus favorable qu'au commencement de l'année dernière.

Toujours est-il que l'Exposition a été pour nous un grand sujet de préoccupation, et sans anticiper sur les détails, nous pouvons dire que nous avons traversé cette épreuve sans qu'il soit arrivé à la Société de grands malheurs; nous pouvons même nous féliciter, en somme, des résultats obtenus.

Les travaux de la Société ont été plus actifs cette année que les précédentes, mais malheureusement aussi, ses pertes ont été considérables et fort sensibles.

A peine avions-nous pris le fauteuil de la présidence, que nous rendions les derniers devoirs à un de nos anciens présidents, M. de Dion. Vous savez avec quel soin M. de Dion s'était occupé, non-seulement des affaires de la Société, mais encore des travaux de l'Exposition, et il est mort à l'ouverture de cette grande solennité. C'est pour nous une double perte, et cette perte, nous avons été conduits à la déplorer toute l'année, puisqu'il nous manquait dans toutes nos délibérations.

A celle-là s'en est trop tôt jointe une autre, celle de M. Callon, fondateur de notre Société, professeur aimé de l'Ecole centrale, et qui représentait plus que tout autre ses tendances parmi nous; c'est encore là un vide considérable, auquel nous ne saurions trouver qu'une bien faible compensation dans cette circonstance que vous l'aviez acclamé, sur notre proposition, l'un de vos présidents honoraires.

Parmi les hommes d'une importance considérable que nous avons encore perdus, je citerai M. Chevandier de Valdrôme, qui avait occupé de grandes situations, et qui, dans ces situations, avait fait quelque chose, dont je dirai quelques mots plus tard, en ce qui concerne l'avenir de nos jeunes ingénieurs.

Je citerai encore M. de Cuyper, avec qui j'avais eu des rapports de bonne confraternité; — M. d'Hamelincourt, qui s'était occupé avec M. le général Morin et avec moi, de questions de ventilation; — M. Caillaux, ancien membre de votre Comité; M. Beugniot qui, dans la capitale de l'Alsace, re-

présentait les travaux français comme ingénieur de premier mérite et de grande initiative.

Bien d'autres encore, en tout dix-neuf, et dans la séance d'aujourd'hui je dois encore faire connaître les décès de MM. Dubied et Camacho.

Comme je l'indiquais tout à l'heure, cette année, qui devait nous être favorable à d'autres points de vue, devra être comptée, par rapport aux pertes considérables que nous avons subies, parmi les plus désastreuses.

Déjà le nombre de ceux qui nous ont quitté, est grand, si grand, que c'est à peine si nous pouvons leur accorder quelques paroles d'intérêt. Mais l'illustration de ceux qui ne sont plus a été remplacée par un grand nombre de jeunes collègues, qui seront les illustrations de l'avenir; à ce point de vue, le nombre des membres de notre Société qui s'élevait à la fin de l'année dernière à 1,420, présente une augmentation de 106, soit actuellement 1,526 ingénieurs d'origines les plus diverses.

Quant à la situation financière comparée, nous pouvons dire qu'au point de vue matériel, la situation est prospère. Au 20 décembre 1877, l'actif total était de 240,000 fr., et il atteint aujourd'hui, en fin 1878, le chiffre de 258,000 fr., soit une augmentation de 18,000 fr. environ. L'année est donc loin d'avoir été onéreuse, malgré les causes de dépenses extraordinaires qu'elle a entraînées. Cependant nous avons eu quelques appréhensions que tous partageaient : M. Loustau, qui doit bien se figurer qu'il fait partie aussi de l'actif de notre Société, pensait à se retirer. Des dispositions ont été prises pour convertir en titres nominatifs nos obligations de chemins de fer, et elles ont permis de sauvegarder à l'extrême la responsabilité de notre trésorier, malgré son changement de résidence; M. Loustau est bien décidé à ne plus nous donner jamais la moindre appréhension de son départ.

La situation morale et technique doit être présentée avec quelques détails.

Le véritable lien des associations réside dans la communauté de vues de leurs membres et dans leurs publications, et sous ce rapport nous sommes complètement en règle. Les cinq premiers numéros de notre bulletin de 1878 ont été distribués, le sixième le sera à la fin du mois de janvier et contiendra un catalogue complet de votre bibliothèque qui, en matière de travaux de construction, est riche d'un grand nombre de brochures françaises et étrangères, que l'on ne trouverait pas ailleurs; elles ont été portées au nouveau catalogue et classées méthodiquement.

Le nombre de nos volumes s'est considérablement augmenté, nous avons obtenu l'échange de notre Bulletin avec celui de l'Académie des sciences. M. Gauthier-Villars nous a fait don de plusieurs ouvrages importants, sur la mécanique moderne. A partir de cette année, le moindre opuscule se trouvera classé dans le catalogue, très bien terminé par M. Richou, et on pourra immédiatement le communiquer à toute demande.

Nous devons avoir par mois deux séances réglementaires, et, en tenant compte des vacances, vingt séances au moins dans l'année. Cette année, nous n'avons pas pris de vacances et le nombre de nos réunions a été porté

à vingt-cinq, sans compter le congrès du génie civil dont je parlerai tout à l'heure.

Ces résultats sont en partie dus à M. Husquin de Rhéville, dont le dévouement à nos intérêts ne s'est pas démenti un seul instant, et je dois ici le féliciter de sa laborieuse et excellente gestion. C'est à ses soins que je dois reporter la régularité avec laquelle nos sociétaires ont alimenté nos discussions.

Il m'a été donné cette année d'assister à toutes les séances. Je souhaite à mes successeurs de pouvoir se procurer la même satisfaction. L'action continue du président rend sa tâche plus facile, et sa présence attentive lui permet de donner une solution aux moindres incidents aussitôt qu'ils se produisent.

Je m'efforcerai d'indiquer le plus brièvement possible les différents mémoires qui ont été communiqués à la Société en 1878, en les classant d'après les sections auxquelles ils se rapportent. La première section a été cette fois subdivisée en deux parties.

Dans la première, constructions publiques et particulières; M. Rudler nous a donné lecture d'un excellent mémoire sur les constructions métalliques de l'Exposition.

M. Gobert nous a communiqué son travail sur la théorie des voûtes, qui constitue un réel perfectionnement sur la méthode de M. Durand-Claye.

Dans la seconde division de la section B, se trouvent classés les chemins de fer :

Tout récemment nous avons écouté le mémoire de M. Bergeron, sur les voies de chemins de fer; nous avions entendu précédemment le rapport de M. David, sur les voies de service, et M. Desmousseaux de Givré nous a entretenu, avec l'habileté de calcul que nous lui connaissions, des mouvements oscillatoires des locomotives. Nous avons pu suivre les travaux très assidus de M. Mékarski, sur les machines à air comprimé.

M. Soleillet nous a conduits dans le domaine un peu plus fantaisiste des chemins de fer du Sahara. — MM. Huber et Lommel ont décrit, avec de nombreux plans à l'appui, le chemin de fer du Simplon. Cette communication, pleine d'actualité, a été fort intéressante. — M. Whaley nous a parlé des bandages des roues de locomotive.

En ce qui concerne les machines, les communications ont été nombreuses, et nous allons parcourir les principales.

En première ligne vient le mémoire de M. Léger, sur la transmission des forces au travers des corps solides. — M. Leloutre vous a présenté un mémoire, qui mérite certainement la considération la plus sérieuse, sur les transmissions par courroies et câbles. — M. Arson a parlé des propulseurs applicables au déplacement de l'air. — M. Ser a établi la théorie des ventilateurs. — M. Marcel Deprez vous a ensuite exposé, peut-être avec trop peu de détails, les magnifiques résultats obtenus par ses dispositions mécaniques, permettant aux ingénieurs d'obtenir des diagrammes représentatifs du travail de la vapeur dans les cylindres des machines locomotives. Nous

devons aussi à M. Armengaud jeune fils une étude curieuse sur les nouvelles machines à gaz, dont il a très bien caractérisé les derniers perfectionnements.

Dans la section 3 se trouvent les mines et la métallurgie. — Cette section a été un peu négligée. Nous dirons pourtant que :

MM. Regnard et Jordan ont fait assister la Société à des discussions des plus attrayantes sur l'outillage de la métallurgie aux États-Unis. M. Ponsard nous a entretenu de sa fabrication de l'acier. MM. Marché et Rubin nous ont montré comment les résultats d'observation obtenus dans ces dernières années leur ont permis de mettre en parallèle la question de composition des fers avec la question de la résistance correspondante des matériaux.

Dans la section 4 (agriculture, physique et chimie industrielle), nous trouvons :

La communication de M. Cotard sur l'aménagement des eaux.

La communication de MM. Trélat, Bourdais et Grouvelle, sur le chauffage et la ventilation, question que nous aurons à reprendre aussitôt que M. Somasco aura terminé le travail qu'il nous a promis.

La communication de M. Sergueeff sur le blanchissage du linge a été fort appréciée. Il n'y avait pas, dit-il, de traité sur la matière; son mémoire est un véritable traité sur le sujet.

Enfin, le mémoire de M. Léger, compris dans la section de mécanique, doit être à nouveau rappelé dans la section 4, par suite de ses expériences de polarisation sur la déformation du verre comprimé.

Vous voyez donc que les communications de nos collègues ont été nombreuses et variées.

Depuis 1866, la Société décerne chaque année une médaille à l'un des mémoires que les sections ont proposés pour cette distinction.

Cette médaille de la Société est doublée, cette année, d'une autre médaille de même importance, dont M. Ronna nous a prié d'accepter de lui la valeur, en réciprocité de la médaille qu'il a reçue précédemment pour son beau mémoire sur les égouts et les irrigations en Angleterre, couronné par la Société.

Ce n'est pas tout. Un de vos anciens présidents, M. Nozo, vous a légué une somme suffisante pour la fondation d'un prix plus important à décerner, tous les trois ans, au meilleur mémoire présenté à la Société pendant la précédente période, et ce prix vient pour la première fois à échéance.

Le legs de M. Nozo, accepté par la Société et dont la première attribution est faite cette année, est une occasion bien précieuse de rappeler son souvenir parmi nous. Votre comité a décidé que la délivrance du prix Nozo serait faite sous la même forme que pour les autres, avec cette différence cependant, eu égard au chiffre plus élévé de la somme que représente la fondation (800 fr.), que le lauréat serait en droit de demander une médaille avec soulte en argent ou d'indiquer tout autre mode à sa convenance.

En se basant sur la proposition de la 1re section, la commission des

président et vice-présidents de la Société a attribué l'une des médailles de la société à M. Seyrig, pour son mémoire sur le pont du Douro, que l'art de la construction doit à l'un de nos sociétaires, M. Eiffel.

Le titre du mémoire de M. Seyrig n'a pas paru d'une clarté suffisante à la commission; elle a décidé que ce mémoire, dont quelques exemplaires seulement ont été distribués à titre d'épreuve, prendrait le titre suivant : *Le pont sur le Douro de MM. G. Eiffel et Cie; mémoire de M. Seyrig.* Nous tenons tous à ce ce que la situation de chacun soit clairement définie; celle du constructeur, auquel les éloges les plus mérités sont dus pour ce bel ouvrage, et celle que M. Seyrig s'est faite auprès de nous par la bonne description qu'il a donnée de l'ouvrage lui-même et la reproduction intéressante des méthodes de calcul.

La médaille de M. Seyrig est mise, dès à présent, à sa disposition et ce serait une très grande satisfaction pour moi de la lui remettre en mains propres.

Conformément à l'une des propositions de la 2e section, la commission a également décerné une de ses médailles à M. Ser, pour sa théorie des ventilateurs.

La médaille de M. Ser est également mise à sa disposition.

On me permettra d'ajouter qu'à l'époque de l'Exposition de 1855, j'avais réussi à faire comprendre dans le personnel des inspecteurs que j'avais à former, deux jeunes gens, qui venaient de terminer avec distinction leurs études à l'École centrale; ces deux jeunes gens étaient M. Henri Peligot et M. Ser. Vous jugerez si, après avoir été en relations avec eux au moment où ils sortaient de l'École, il y a pour moi une bien vive satisfaction à rappeler un de leurs noms en cette circonstance, à un si grand nombre d'années de distance.

Le mémoire de M. Ser présente cette circonstance particulière, que la théorie des ventilateurs était quelque peu incomplète dans l'enseignement. M. Ser a pensé que le problème n'était pas énoncé d'une manière suffisante pour que les inconnues, dont la détermination est demandée par la pratique, pussent être calculées avec une assez grande facilité. Il a retourné la question et a ainsi présenté un mode de solution plus simple. De telle sorte que les élèves peuvent calculer les ventilateurs comme on le fait pour les turbines; j'ai trouvé qu'il y avait un très grand bonheur pour la Société des ingénieurs civils à couronner dans ce mémoire les services rendus à l'enseignement de l'École centrale tout autant qu'à la pratique.

M. Gobert avait été compris de même dans les propositions de votre 2e section. Mais la commission a dû, en ce qui le concerne, obéir au texte même de la fondation, qui exige que l'on n'admette au concours que des mémoires non encore publiés. Il s'est trouvé que le mémoire de M. Gobert se trouvait distribué sous forme d'autographie in-quarto, dont un exemplaire appartient même à votre bibliothèque. Je regrette cette circonstance de la publicité antérieure, donnée au mémoire de M. Gobert, et je tiens à dire publiquement que j'estime qu'il y a dans son perfection-

nement de la méthode Durand-Claye une recherche très intéressante et très réussie.

J'aurais préféré que le texte ne fût pas aussi formel, et que le mémoire dont il est ici question fût compris parmi ceux que la Société avait à récompenser.

Enfin et conformément à l'une des propositions de la 4e section, la commission a réservé le prix Nozo pour M. Léger, dont le mémoire relatif à la transmission des forces à travers les corps solides, en voie de déformation, lui a paru plein d'avenir. Si j'avais été seul juge, j'aurais peut-être hésité à donner le prix à M. Léger, par la raison bien simple que l'on aurait pu croire que j'attachais trop d'importance à la reproduction de certaines déformations que j'avais moi-même signalées, depuis longtemps, dans mon travail sur l'écoulement des corps solides.

Le prix Nozo a été décerné au mémoire de M. Léger, et il méritait bien cette distinction.

Notre activité a été à l'extérieur particulièrement appelée du côté de l'Exposition, ce magnifique concours où tant de progrès se sont utilement produits, et où les mérites industriels de notre pays se sont produits avec un éclat tout particulier.

C'est comme président de l'un des comités d'admission que j'ai pris l'initiative d'y fonder une bibliothèque technologique où nous pourrions montrer aux étrangers tout ce que nous possédons de richesses en ouvrages originaux, publiés sur les diverses industries et les travaux techniques. Mes collègues du groupe VI me prêtèrent leur concours le plus dévoué, et cette bibliothèque, qui comptait plusieurs milliers de volumes, fut utilement consultée, pendant toute la durée de l'exposition, non-seulement par les membres du Jury mais encore par un grand nombre de visiteurs et d'industriels.

Nous nous étions proposé de compléter cette opération pour laquelle il nous avait fallu faire construire, avec le concours de notre collègue M. Gargan, un bâtiment spécial, par une mesure beaucoup plus large qui aurait eu pour effet de conserver à la France la plupart des documents imprimés qui avaient été apportés à l'exposition par les gouvernements étrangers.

Malheureusement cette proposition, acceptée en principe par M. le commissaire général et pour laquelle il nous avait accordé son cordial encouragement, n'a pas été suivie d'une autorisation régulière qui nous permît de mettre le projet à exécution. Il sera certainement repris à une autre exposition. Nulle occasion n'est, en effet, plus propice à un échange de ces publications précieuses, trop peu connues en dehors des pays où elles se sont produites, et qui aideraient si puissamment à la marche du progrès dans tous les pays d'industrie.

C'est par suite de la création de cette bibliothèque, où vous vous êtes empressé de faire figurer votre bulletin, que le jury de la classe 66 a accordé à notre Société des Ingénieurs civils le grand diplôme d'honneur, qui constitue un titre collectif d'une importance considérable pour notre associa-

tion, ainsi reconnue, pour ainsi dire une seconde fois d'utilité publique, de par le jury international.

Les distinctions personnelles ont été d'ailleurs très nombreuses parmi nos sociétaires. L'ingénieur commence à occuper dans nos usines, comme cela est de règle depuis longtemps en Angleterre, la position qui lui appartient, et la considération dont il jouit maintenant en est le reflet équitable.

Nos collègues devaient profiter avec éclat de cette situation dans la distribution des récompenses de l'Exposition ; aussi le résultat a-t-il été splendide et presque dépassé nos espérances. J'ai ici la liste de ces récompenses, et, si je m'abstiens de la lire pour abréger, il est bien convenu qu'elle sera imprimée tout entière avec l'indication des motifs à l'appui, que j'ai rédigés moi-même conformément aux appréciations du jury.

Quant aux distinctions honorifiques, nous comptons en France seulement seize croix d'officiers de la Légion d'honneur, dont une à notre nouveau président, et trente-quatre croix de chevaliers.

Bien que ces distinctions soient largement méritées par les travaux importants qu'elles ont récompensés, nous devons cependant nous en montrer reconnaissants, et nous n'avons pour cela de meilleur moyen que celui auquel nous nous sommes engagés, de faire ressortir par un examen approfondi la valeur réelle des progrès accomplis dans tous les genres de connaissances qui sont de notre domaine.

Votre comité de l'année dernière s'était subdivisé en cinq groupes, par suite du dédoublement de la 1re section ; ces cinq sections ont toutes désigné leurs présidents et leurs rapporteurs, chargés de rédiger leurs appréciations sur les différentes matières des travaux représentés à l'Exposition. Plusieurs rapports vous ont déjà été communiqués ; c'est ainsi que nous avons à citer à nouveau celui de M. *Rudler*, sur les constructions métalliques de l'exposition ; celui de M. Jules *Gaudry*, sur les machines marines ; celui de M. *Allart*, sur les générateurs fixes. M. *Niaudet* vous a déjà entretenus de l'électricité et de ses applications. Vous avez applaudi, comme il le méritait, le rapport de M. Clémandot sur la verrerie à l'Exposition. Beaucoup d'autres mémoires sont en cours de préparation, et nous attendons prochainement les travaux de M. Hersent sur les fondations des ouvrages d'art ; de M. Douau, sur les machines de chemins de fer ; de M. Lecocq, sur le matériel fixe de l'exploitation ; de M. Salomon, sur les voitures et wagons ; de M. Vidard, sur les voitures de luxe ; de M. Kremer, sur le chauffage des voitures ; et de M. Sépulchre, sur la fabrication de l'acier, de M. Salvetat, sur la Céramique à l'Exposition, etc. Je ne comprends dans cette énumération aucune des études dont les rapporteurs n'ont pas encore été désignés ; mais je compte tout particulièrement sur M. Brull, sur M. Pihet, sur M. Armengaud aîné, sur M. Degousée, sur M. Orsat, sur M. Arson, et sur M. Chabrier, qui ont, chacun dans sa spécialité, promis leur concours dans ce travail d'ensemble.

Dans cette situation, nous sommes assurés de voir toutes vos séances de 1879 bien remplies, même dans le cas où les nouvelles communications

ne répondraient pas à l'activité à laquelle nous sommes maintenant accoutumés.

Moi-même, si vous le permettez, je me propose, lorsque la plupart de ces rapports seront terminés, de vous présenter une appréciation générale sur toutes les industries du groupe VI, que je présidais dans le Jury international, et qui avait surtout pour objet d'examiner, de la classe 50 à la classe 58, les industries qui se rattachent à vos études et à vos habituelles préoccupations.

Arrivons à ce qui concerne nos relations avec les sociétés étrangères.

L'offre que nous avions adressée à plusieurs sociétés étrangères, de mettre à leur disposition notre hôtel pour les réunions qu'elles voudraient tenir à Paris, n'a pas été oubliée. Notre invitation a été acceptée par la Société des ingénieurs mécaniciens de Londres et par la Société des ingénieurs et architectes de Vienne. Nous avons eu plus spécialement l'honneur de recevoir, à la salle de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, l'Institut du fer et de l'acier, dont la session a été particulièrement importante. Plusieurs de nos collègues ont fait des communications à ces réunions qui ont été parfaitement cordiales et qui nous assurent les meilleures relations à l'étranger. A la suite de l'Exposition, un certain nombre d'ingénieurs étrangers ont été invités à nos séances, et nous avons aujourd'hui l'honneur de les compter au nombre de nos sociétaires.

Les gouvernements d'Autriche et d'Italie nous ont fait don de leurs publications techniques les plus importantes, et l'un des membres du Jury américain, M. Watson, a enrichi notre pays d'un grand nombre d'ouvrages dont la connaissance est trop peu répandue parmi nous. Enfin M. Robinson, Président de la Société des ingénieurs mécaniciens de Londres, a voulu témoigner de la satisfaction que lui a causé son séjour parmi nous en nous offrant un important ouvrage publié récemment en Angleterre.

D'autres sociétés ont accrédité des membres isolés auprès de nous, et nous avons fait tous nos efforts pour les aider dans les recherches techniques et les visites d'usines qu'ils nous demandaient de leur faciliter.

Je dois surtout vous entretenir de l'occasion qui s'est offerte de nous mettre en relations plus intimes avec un grand nombre de nos collègues étrangers; cette occasion, il m'a été permis d'aider un peu à la faire naître, en organisant le congrès du génie civil dont j'ai été obligé d'accepter la présidence, par suite sans doute de la position que vous m'aviez faite parmi vous.

Vous savez que les congrès et les conférences de l'Exposition ont été institués sur l'initiative de notre collègue M. Thirion.

On les avait répartis en six groupes; celui auquel j'appartenais a fonctionné sous la présidence de M. Duclerc, vice-président du Sénat, et dans toutes les opérations préparatoires, il y avait cela de remarquable que dans cette commission, où se trouvaient des ingénieurs étrangers aux corps des ponts et chaussées et des mines, on comptait cependant plusieurs

dignitaires de ces corps, parmi lesquels MM. Couche et Véron-Duverger, qui sont l'un et l'autre à la tête de l'administration des chemins de fer de l'État; nous comptions encore parmi les membres qui se sont associés aux opérations du Congrès du génie civil, MM. Boulé, Maugon, Malézieux, ingénieurs en chef des ponts et chaussées, c'est-à-dire que c'était bien là une réunion dans laquelle l'élément des ingénieurs de l'État se trouvait côte à côte avec l'élément pris dans les ingénieurs civils.

Notre collègue, M. Charton, avait accepté d'être trésorier du Congrès du génie civil, et MM. Marché et Armengaud d'en être secrétaires. Voilà donc la Société des ingénieurs civils hors de chez elle, s'occupant des questions qui l'intéressent le plus et prenant part à une série de réunions professionnelles d'un grand intérêt.

Une grande publicité sera donnée aux séances du Congrès. Vous recevrez tous un exemplaire de sa publication officielle. Il me paraît donc inutile d'entrer dans des détails qui manqueraient d'utilité pour vous; je me borne à citer ces séances du Congrès du génie civil comme ayant été l'occasion très heureuse de réunir les différents ingénieurs qui s'occupent des mêmes questions, quelle que soit leur origine.

On ne se doutait pas à cette époque que cette réunion, où l'on a vu pour la première fois les ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, discuter, sur le même pied, avec les ingénieurs civils, serait aussitôt suivie du décret par suite duquel nous nous trouvons appelés dès maintenant à apporter notre concours aux travaux que doivent procurer à la France, ce que l'on appelle maintenant l'outillage industriel du pays, les chemins de fer, les ports et les canaux.

Sous le ministère de notre regretté collègue, M. Chevandier de Valdrôme, le conseil de l'École centrale des arts et manufactures, préoccupé des intérêts des élèves, avait obtenu pour eux quelques facilités en ce qui concerne seulement leurs admissions aux fonctions d'agents-voyers.

Aujourd'hui la carrière semble bien autrement ouverte, et l'importance du décret du 20 décembre exige que nous en reproduisions ici les principales dispositions.

Article Ier. — Il est créé pour la période des grands travaux publics, parallèlement au cadre permanent des ingénieurs et conducteurs des ponts et chaussées, un cadre auxiliaire comprenant :

1° Des ingénieurs auxiliaires des travaux de l'État, répartis en trois classes correspondant respectivement aux ingénieurs ordinaires des 1re, 2e, et 3e classes.......

Art. II. — Les nominations à ces différents emplois seront faites par le Ministre des travaux publics, savoir :

1° Au grade d'ingénieur, après appréciation des titres des candidats, par une commission d'inspecteurs généraux des ponts et chaussées désignés par le ministre.....

Art. III. — Les candidats aux emplois d'ingénieurs du cadre auxiliaire devront justifier d'un diplôme d'ingénieur civil, ou d'un titre équivalent, ou de cinq ans de service dans de grands travaux publics.

Art. V. — Les ingénieurs et agents du cadre auxiliaire recevront un traitement égal au traitement du grade correspondant du cadre permanent des ponts et chaussées. Ce traitement sera augmenté d'un tiers à titre d'indemnité de précarité.

Ils recevront en outre les allocations accessoires, accordées dans le service des ponts et chaussées.

Art. VIII. — A l'expiration de la période des grands travaux publics, ceux des membres du corps auxiliaire qui se seraient signalés et dont les services paraîtraient de nature à être utilisés pourront, sur l'avis conforme du conseil général des ponts et chaussées, continuer d'être employés, aux mêmes conditions, dans les travaux de l'État.

Je manquerais à mon devoir si, en présence d'un décret de cette importance, je ne saisissais pas l'occasion d'en causer avec vous, en cherchant à mettre chaque chose à sa vraie place et à préjuger, pour chaque disposition du décret, sa véritable valeur pratique. Entre nous, nous allons donc l'étudier en dehors de tout intérêt de corporation.

La mesure est essentiellement libérale et nous devons sous ce rapport en féliciter l'actif promoteur. On en a contesté la légalité, mais il n'en est pas moins vrai, que si l'on se reporte à la loi du budget, on y trouve inscrite pour 1879 la somme d'un million, affectée au personnel qui pourra être attaché aux grands travaux publics, en dehors du corps des ponts et chaussées.

Tout au plus pourrait-on prétendre, à ce sujet, qu'il n'avait pas été dit que cette somme fut destinée à un personnel d'ingénieurs, et c'est le mot seul qui a surtout éveillé les susceptibilités qui se seraient produites, si nous sommes bien informés, d'une manière assez pressante, du côté de MM. les inspecteurs généraux des ponts et chaussées.

L'opposition des ponts et chaussées est toute naturelle, et nous n'avons pas à nous en émouvoir outre mesure. D'un autre côté, on a dit que ce décret avait éveillé à l'extrême les convoitises des ingénieurs civils, et pour ma part je ne vois rien de semblable; j'ajoute même que je ne vois pas pour quels avantages ces convoitises pourraient être si vivement sollicitées.

En restant dans le domaine des appréciations tranquilles, je voudrais examiner s'il faut constater, dans le projet de M. de Freycinet, une révolution dangereuse, qu'il m'est vraiment impossible d'apercevoir, ou seulement la sage prévision des circonstances dans lesquelles notre intervention deviendra nécessaire et dont quelques-uns d'entre nous pourront profiter, mais qui, en définitive, ne sont commandées que par les véritables intérêts du pays.

La grande question qu'il faille résoudre consiste dans l'exécution de 12,000 kilomètres de chemin de fer. Tout incompétent que je sois en pa-

reille matière, je me demande si cette exécution exigera le concours d'un si grand nombre d'ingénieurs nouveaux.

On paraît croire qu'en raison de 400 kilomètres par ingénieur en chef, en dix ans, l'exécution de ces 12,000 kilomètres exigera seulement un état-major de 30 ingénieurs de ce grade. Un ingénieur en chef comporte avec lui, en moyenne, l'attribution de 3 ingénieurs ordinaires. Il faudrait donc 120 ingénieurs pour exécuter les 12,000 kilomètres en question. Mais combien de ces 120 ingénieurs se trouveront-ils dans le corps même des ponts et chaussées?

Il y a trois mois, plusieurs d'entre eux pensaient que l'exécution d'un semblable projet était impossible, et voilà qu'à la suite de la publication du décret, il se produit déjà chez eux une émulation très active qui les porte à offrir leurs services à la réalisation de la mesure.

Il semblerait donc qu'il n'y aura guère à trouver qu'une cinquantaine d'ingénieurs, à des intervalles plus ou moins éloignés. C'est à peine s'il sera nécessaire d'en nommer en ce moment plus de vingt, c'est-à-dire un bien petit nombre pour motiver les appréciations exagérées dont le décret a été l'objet.

L'État ne recrutera pas facilement ce petit complément nécessaire au nombre de ses ingénieurs; les avantages offerts ne sont pas assez considérables pour des positions temporaires, et nous estimons que la question est, dans le présent, toute d'intérêt moral, bien plus encore que d'intérêt personnel.

Je crois donc que, malgré la solennité du décret, il y aura peu d'ingénieurs auxiliaires attachés directement aux travaux de l'État, et je n'aperçois pas, d'ailleurs, que ces positions soient extrêmement recherchées par ceux d'entre nous qui ont une réelle compétence dans ces sortes de travaux.

Remarquons encore que le Ministre ne s'est réservé de faire aucune nomination en dehors de la commission exclusivement composée d'ingénieurs des ponts et chaussées; de sorte que, tout en décrétant une mesure libérale, il s'est lié les mains et ne peut rien faire sans obtenir l'approbation du corps qui s'est montré si peu favorable à la mesure.

Il en sera tout autrement pour les positions secondaires.

On a dit qu'il faudrait 2,000 conducteurs auxiliaires. — Je crois que de ce chef le décret est plus près de la vérité; si en effet nous comptons que chacun des 90 ingénieurs ordinaires doive utiliser 5 chefs ou sous-chefs de section, nous arrivons immédiatement à un total de 450 agents principaux, sans compter les employés en sous ordre.

Il était donc urgent, pour le personnel inférieur, de créer des cadres spéciaux, dans des proportions plus grandes que pour le cadre des ingénieurs des différentes classes.

Sans doute les fonctions de chefs de section exigent une connaissance sérieuse de la pratique des travaux, et elles ne pourront être confiées qu'à certains agents éprouvés tels que les employés secondaires des compagnies de chemins de fer. Mais je regarde encore au-dessous et j'aperçois pour les élèves

de l'École centrale de fortes raisons de se féliciter du décret; interprété dans la mesure des besoins réels et sans créer d'antagonisme d'aucune sorte, il permettra aux jeunes gens d'entrer de bonne heure dans la carrière des travaux publics où ils compléteront leur instruction pratique dans des conditions favorables à leur avenir.

La partie essentielle du décret, pour ce qui nous concerne, c'est donc l'introduction des élèves de nos Écoles, le plus tôt possible, dans les grands services de chemins de fer. Il leur faudra tout d'abord peu d'expérience, un stage peu prolongé, pour devenir sous-chefs de section. La position n'est pas brillante, mais nous leur conseillons de la rechercher. Un sous-chef de section touchera environ 2,500 francs, un chef de section 3,500 francs. Ces émoluments ne sont pas à dédaigner pour le jeune ingénieur qui débute, surtout s'il peut ainsi se procurer le complément d'instruction pratique dont il a tant besoin et dont la poursuite rend ses premières années si difficiles au sortir de l'École. Le véritable intérêt de la mesure consiste donc à faciliter la voie à ceux qui suivront la carrière d'ingénieur civil, et c'est surtout à ce point de vue que nous devons attacher au décret un véritable intérêt.

Nous y voyons en outre un gage d'avenir, et nous n'hésitons pas à affirmer que la création des ingénieurs auxiliaires s'accomplira sans aucun des inconvénients annoncés. Le décret sera exécuté, un peu étroitement peut-être, mais sagement; et il faudra attendre longtemps pour en voir sortir le profit moral qui se réduit en ce moment à ce que, nous aussi, nous serons à bon droit regardés, un peu plus tôt ou un peu plus tard, comme propres à l'exécution des grands travaux publics du pays.

La porte est seulement entr'ouverte; n'hésitons pas à la respecter. Un jour viendra où ceux d'entre nous qui se seront fait remarquer par des travaux importants et la vraie connaissance des choses ne manqueront pas d'être appelés dans les conseils des travaux publics.

C'est une tentative du même ordre qui nous avait déjà réunis, en 1870, avec quelques ingénieurs des mines, lorsqu'il s'agissait, dans notre capitale, fermée aux communications extérieures, de fabriquer des appareils de guerre que les arsenaux ne pouvaient plus y faire parvenir. Nous croyons avoir montré à ce moment terrible que les efforts privés peuvent, dans un grand nombre de cas, amener des résultats aussi favorables et à moindre prix que la direction exclusive de l'État.

C'est là une vérité qui s'affirmera de plus en plus, et nous espérons que plus d'un chemin de fer, que plus d'un grand canal seront exécutés très utilement par l'entreprise, sous la direction et avec les ressources de l'industrie privée, dans les meilleures conditions.

En rappelant ici qu'il vous a été donné dans certaines circonstances de mettre votre dévouement et votre ardeur au service des intérêts généraux, l'État doit être assuré de trouver chez vous, lorsqu'il en sera besoin, le même sentiment du devoir et la même possession de toutes les connaissances techniques nécessaires.

Les ingénieurs civils ne se départissent jamais des conditions de loyauté

absolue qui ont valu au corps des ponts et chaussées une juste considération. Qu'ils se spécialisent de plus en plus, après avoir puisé dans nos Écoles toutes les connaissances théoriques dont sont pourvus les ingénieurs de l'État, tous anciens de l'École polytechnique et de ceux qui y ont occupé les premiers rangs.

Dans cette question qui intéresse notre avenir, nous aurions grand tort de ne pas regarder comme infiniment favorable la translation de l'École centrale à côté des bâtiments du Conservatoire des arts et métiers, sur un vaste terrain où l'on pourra facilement introduire les améliorations jugées nécessaires. Plusieurs de nos collègues, qui appartiennent au Conseil municipal de Paris, ont contribué à cette heureuse solution. Une solution analogue, due à l'initiative de M. Cauvet et peut-être un peu à la mienne, avait déjà été poursuivie en 1860, de concert avec MM. Lavallée, Morin et Perdonnet. Il n'est jamais trop tard pour arriver à un bon résultat.

Et maintenant que je vous ai, Messieurs, retracé la vie active de la Société pendant le cours de cette année écoulée, que j'ai en même temps jeté un coup d'œil sur les horizons qui s'ouvrent devant vous dans un prochain avenir, il n'est pas besoin de vous dire avec quel degré de confiance je remets les affaires entre les mains de mon successeur, avec qui j'ai le bonheur d'avoir entretenu, depuis de longues années, les relations les plus cordiales et les plus sûres. En le choisissant à la presque unanimité de vos votes, vous avez certainement cédé à la sûreté de ces relations. Peut-être aurais-je le droit de vous reprocher d'avoir, deux années de suite, confié la présidence à des mécaniciens. N'est-ce pas avoir fait la part trop large à la même branche de nos spécialités? A moins que vous n'ayez pensé que l'étude des machines leur appartient à toutes, et qu'elle est surtout importante par cette raison bien simple que le travail mécanique doit être de plus en plus puisé aux sources naturelles, de manière à exonérer nos ouvriers des plus rudes labeurs, tout en leur assurant une plus grande somme de production et de bien-être.

M. Joseph Farcot n'est pas seulement l'habile constructeur que vous savez; il a étudié dans la pratique la vraie condition du travailleur; il saura en tenir compte dans la mesure de ce qui est possible, et diriger avec fermeté vos utiles débats. J'ajouterai que si l'année 1878 ne nous a pas été défavorable, peut-être aussi la nouvelle année se présente-t-elle sous les plus heureux auspices, et je fais à ce sujet tous mes vœux pour l'affermissement de l'union que, plus que personne, je désire voir s'établir, dans les circonstances actuelles, entre la Société des ingénieurs civils et les ingénieurs de l'État.

M. Tresca cède le fauteuil à M. Farcot qui prononce le discours suivant :

Messieurs et chers Collègues,

Vous avez donc voulu, et d'une volonté ferme à laquelle je devais obéir, m'honorer de la Présidence si enviée des Ingénieurs civils. Aux récompenses

éclatantes de l'Exposition, obtenues pour moi avec votre cordial appui, vous avez voulu ajouter encore le plus grand honneur qu'il soit donné à un Ingénieur de recevoir en m'appelant à votre tête, en inscrivant mon nom à la suite de ceux de tous les hommes éminents qui se sont succédé dans cette présidence; recevez-en, Messieurs, tous mes remercîments et l'expression de ma profonde reconnaissance.

Les nombreux et excellents témoignages de sympathie qui m'ont été adressés dans ces derniers temps, et que vous sanctionnez et couronnez par un tel honneur, m'ont rendu force et courage, et ont été ma justification, à la suite des douloureuses épreuves que j'ai traversées et des attaques dont j'ai été l'objet depuis la perte de mon vénéré Père. Vous m'approuverez de reporter l'honneur de cette cordiale et vive sympathie à la mémoire de ce tant regretté et respecté doyen des constructeurs français, dont je suis le fils et l'élève, et dont j'ai été trente ans le collaborateur.

Le but de ma vie est, maintenant, de continuer son œuvre, de la développer et de la transmettre à mes fils.

Mais, chers Collègues, pour remplir les hautes fonctions dont vous me chargez, je sens toute mon insuffisance, mon inexpérience; je sens combien les autres charges qui pèsent déjà sur mes épaules, pourront entraver mon bon vouloir. J'aurai donc besoin de toute votre indulgence et de votre concours; je vous les demande et je sais que vous me les accorderez. Je vous en remercie d'avance.

Les Ingénieurs étant les chefs naturels et nécessaires de toute industrie, appelés à diriger, à élaborer tout progrès théorique et pratique, les travaux de notre Société doivent, chaque année, avoir pour objet principal l'étude des besoins industriels, la recherche et le développement des nouvelles solutions techniques que, chaque jour, l'esprit humain enfante en tous pays.

Au sortir de la glorieuse et féconde Exposition universelle que la France vient de montrer au monde, nous avons donc pour premier devoir, pour premier but de nos études, de développer, mettre en évidence et rendre profitables pour tous, les enseignements de cette grande Exposition.

C'est ce que, dans ces derniers mois, plusieurs de nos collègues ont entrepris et ce que d'autres continueront sans doute.

Nous devrons, pour toute branche des sciences industrielles, rechercher les voies de l'avenir, sans engouement, sans enthousiasme irréfléchi et sans abandonner précipitamment et indûment celles dont le passé a prouvé la fécondité et sanctionné les résultats.

Nous devrons montrer par l'étude attentive et analytique des produits français que notre patrie, malgré ses malheurs, n'est pas descendue de son rang dans les sciences et dans l'industrie; que, tout en rendant hommage aux progrès réalisés par d'autres nations, elle avance, elle aussi, en toutes choses, et est en état de se suffire à elle-même pour tous les besoins de ses

usines, pour sa subsistance et aussi pour sa défense sur terre et sur mer, et nous nous efforcerons d'accroître tout moyen de puissance nationale dans ces voies diverses.

Sans doute, les nations civilisées sont solidaires; elles ont besoin les unes des autres; les progrès de chacune profitent à toutes, du moins à celles qui travaillent, et cela d'autant plus que les relations sont plus suivies, les échanges plus libres et plus actifs. Mais tant que la paix du monde pourra être, subitement et hors de toute raison, troublée par l'ambition de quelques hommes; tant que les peuples ne seront pas assez sages pour résister à de telles tendances et pour régler par arbitrages leurs différends que des flots de sang ne peuvent résoudre; tant qu'il en sera ainsi, chaque pays doit être et se maintenir en état de pourvoir à son armement, à sa défense; et sa plus grande puissance, dans ce sens comme en tous autres, réside dans la valeur de ses usines, de ses ateliers, de ses Ingénieurs.

Il nous faut donc ne pas perdre de vue ces questions de défense nationale.

Souvenons-nous qu'en 1870, dans l'année néfaste, le génie civil, enfermé dans Paris et représenté par notre société, a, sous la direction de notre cher et honoré président, M. Tresca, contribué, lui aussi, à sauver, sinon la patrie, au moins l'honneur de la patrie; et qu'en province ingénieurs et ateliers ont aussi fait leur devoir et armé le pays.

Pour donner à la France toute l'activité industrielle dont elle est capable et qui lui fait défaut aujourd'hui, et aussi pour développer sa puissance défensive, il faut accroître ses moyens de transport, chemins de fer, voies navigables, ports, tous ses éléments d'action; c'est ce que vient d'entreprendre un ministre d'initiative et de progrès, et ce qui va être exécuté avec l'appui des Chambres, aux applaudissements du pays. Nous désirons tous que ce soit dans le plus bref délai possible.

Par une décision ministérielle d'esprit libéral et tout nouveau, les ingénieurs civils sont appelés à participer à cette immense et féconde transformation. Nos collègues, qui ont l'expérience de ces grands travaux, vont donc voir s'ouvrir devant eux un vaste champ d'activité et pouvoir contribuer plus que jamais au développement de la richesse et de la puissance nationales.

Je n'entreprendrai pas, Messieurs, d'énumérer ici les progrès en toutes branches, manifestés par l'Exposition universelle, les directions nouvelles ouvertes à votre activité, les applications de plus en plus merveilleuses de la science à l'industrie. Chacun de vous a recueilli pour son industrie spéciale tous les renseignements qu'une étude attentive, compétente et prolongée pouvait seule faire découvrir, et mon rôle de président consiste seulement à vous prier de faire, dans la mesure la plus large possible, profiter notre société de cette riche moisson en multipliant ces communications

nombreuses et détaillées qui ont, depuis son origine, donné tant d'intérêt à ses bulletins et étendu si loin son influence.

Je me bornerai donc à vous présenter quelques réflexions sur les questions que j'ai pu, comme constructeur, examiner de plus près.

Pour ce qui concerne, par exemple, les machines à vapeur, nous avons tous pu constater que les types exposés dans la section française présentaient, comparativement à ceux des autres pays, des conditions constitutives au moins égales, sinon supérieures, au point de vue de la bonne construction et de l'économie de la vapeur.

Nos voisins d'outre Manche le reconnaissent eux-mêmes dans des articles récents de journaux techniques.

On ne peut certes poser en principe que les mines de houille soient inépuisables; elles ont fourni beaucoup, elles fourniront bien davantage. Mais, pour pouvoir alimenter l'industrie de l'avenir, il faut, dans l'ordre d'idées des sciences actuelles, que les industriels de ce temps ménagent et économisent le plus possible les ressources de ces mines; c'est du reste leur intérêt direct et immédiat, malgré l'abaissement momentané des prix dû à la stagnation des affaires.

Il faut donc rechercher plus que jamais et réaliser les meilleures conditions économiques pour les moteurs à vapeur.

Les anciens types français modifiés et améliorés dans le sens du progrès donnent d'excellents résultats; d'autres types créés d'abord à l'étranger sont actuellement transformés en France, et y atteignent des chiffres d'économie de combustible que leurs premiers constructeurs n'avaient pu réaliser chez eux.

Dans un article récent de l'*Engineer*, nos voisins manifestent la crainte de voir les machines motrices du continent s'importer en Angleterre.

Et pourtant les idées techniques françaises ont toujours eu bien de la peine à s'accréditer en France sans passer auparavant par l'étranger. Ainsi les machines à cylindres successifs du genre que l'on appelle spécialement machines Compound, et qui, retour d'Angleterre, commencent à être en vogue, ne sont autre chose que la reproduction de types créés, il y a bien des années, par des ingénieurs et constructeurs français.

L'emploi de cylindres successifs a, de tout temps, amélioré, dans la plupart des cas, les conditions économiques des moteurs; mais en matière d'économie de vapeur, comme en toute science, les faits d'expérience et de pratique doivent servir de base aux vraies théories et surtout aux conclusions industrielles. Il ne faut pas que, par un engouement irréfléchi, on se borne à considérer un point de vue exclusif sans se préoccuper des autres. Or, s'il est vrai et incontestable que l'emploi des deux cylindres successifs permet d'éviter au cylindre d'admission le refroidissement intérieur produit par la condensation, il est incontestable aussi que des machines à un seul cylindre ont donné des résultats économiques supérieurs à ceux des meilleures Compound connues; et que, d'autre part, les moteurs à deux cylindres ne

peuvent être, à un moment donné, forcés au delà du chiffre de puissance correspondant au maximum d'admission possible dans le petit cylindre; c'est-à-dire qu'ils n'ont presque aucune élasticité de puissance, tandis que les machines à un seul cylindre, réellement économiques et élastiques de puissance, peuvent dépasser incomparablement plus et plus facilement leur force nominale, par variation de l'admission, sans que la consommation de vapeur y devienne excessive.

Ce sont là des faits d'expérience qui peuvent étonner, mais qui sont des faits; et il n'est pas permis de les éliminer de la science pour la construction des machines.

Il faut dire, au contraire, que tout type de moteur peut évidemment être constitué à un ou plusieurs cylindres, simple ou Compound; que, selon le mode ou les conditions de distribution admis, on aura, par Compound, des résultats plus ou moins avantageux qui pourront, en certains cas, donner une économie notable par rapport au type à un seul cylindre; mais que, dans d'autres conditions, l'économie comparative sera peu appréciable ou même négative, selon que le constructeur aura plus ou moins bien réussi dans ses combinaisons; et que, de plus, si la machine Compound peut convenir pour un travail limité, constant et bien déterminé de valeur maxima, elle pourra, au contraire, dans d'autres cas, pour usines à travail varié, par exemple, se trouver tout à fait insuffisante d'élasticité de puissance, et inférieure, à ce point de vue de première importance, aux machines à un cylindre, lesquelles d'ailleurs, comme je l'ai dit, peuvent être établies dans des conditions économiques supérieures à celles de bien des Compound.

Or, chacun sait que toute machine qui, à un moment donné, ne peut forcer la résistance, toute résistance, sous l'action de son régulateur, et qui, mollissant, permet à la vitesse de se ralentir, devient une cause certaine de perte industrielle pour son possesseur.

Je crois donc que l'industrie aurait grand tort d'abandonner les types à un cylindre pour se jeter aveuglément dans l'emploi immodéré et plus ou moins exclusif des machines à cylindres successifs, au lieu de les réserver pour les cas où leur emploi peut devenir vraiment avantageux.

Les moteurs économes de vapeur sont et seront de plus en plus applicables à tous les cas, à tous les besoins de l'industrie moderne et des services publics. L'élévation des eaux pour les villes, par exemple, croît d'importance chaque jour; les besoins s'étendent au delà de toute prévision avec la surface des villes, le réseau des conduites et l'accroissement du bien-être, et il faut, dans cette application plus encore peut-être que dans toute autre, réduire au minimum la consommation de combustible, réaliser les dernières économies.

Les machines à deux cylindres successifs pourront, pour ce travail, être employées avec avantage, comme elles l'ont été depuis bien des années et avec grand succès par les constructeurs français. On doit faire observer néanmoins que les types les plus économiques et les plus récents sont à

un seul cylindre; mais l'application à ces types du système dit *Compound*, pour machines élévatoires, ne pourra que réduire encore leur consommation sans qu'on ait, dans ce cas, à souffrir de leur défaut d'élasticité, la puissance nécessaire ne pouvant varier au delà d'une limite maximum très rapprochée, fixée d'avance par les dimensions des pompes à pistons.

Au contraire, s'il s'agissait de machines élévatoires d'eau d'égout, par exemple, à pompes centrifuges et à débit nécessairement et excessivement variable, l'emploi de machines à un seul cylindre serait certainement le plus indiqué, donnant tout à la fois l'économie de combustible et la plus grande élasticité de puissance.

Il en serait de même pour l'arrosage des terres dans les pays brûlés du soleil ou dans tous ceux que l'irrigation abondante féconde.

Dans beaucoup d'usines les besoins sont les mêmes au double point de vue de l'économie et de l'élasticité.

Vous me blâmerez peut-être de m'être laissé entraîner à traiter en cette circonstance un sujet qui peut paraître un peu trop spécial; si j'ai parlé d'abord des moteurs à vapeur, c'est parce que cette question rentre plus particulièrement dans mes sujets d'étude habituels et que la vapeur d'eau est actuellement encore l'intermédiaire le plus usité et à peu près le seul employé pour constituer des moteurs.

On peut cependant voir, dans un avenir qui paraît encore éloigné, l'emploi d'autres intermédiaires dont quelques-uns, air, gaz, etc., ont déjà présenté certains avantages dans des circonstances spéciales.

Voilà encore, Messieurs, une source de progrès considérables explorée déjà avec succès par un certain nombre de nos collègues, et dont les applications tendront à se multiplier.

La transmission de mouvement effectuée à distance, ou en circonstances spéciales par l'emploi de l'eau à haute pression, est aussi d'une application de plus en plus grande. Cette industrie, née en France comme bien d'autres (puisque les premiers accumulateurs sont, si je ne me trompe, de l'invention de M. Falguière, de Marseille, sous le nom de *réservoirs de force*), et qui était devenue l'objet de l'activité de constructeurs anglais, redevient maintenant industrie française; là encore, nous pouvons faire aujourd'hui au moins aussi bien que nos voisins.

Je citerai encore une industrie de grande importance dont le développement se relie tout particulièrement à celle de la construction mécanique, et pour laquelle des progrès considérables ont été faits dans ces dernières années. Je veux parler de l'amélioration des matières premières telles que fonte, fer, aciers divers, bronze, etc. Grâce aux Ingénieurs chimistes et métallurgistes distingués, membres pour la plupart de notre Société, qui ont approfondi et résolu ces difficiles problèmes, nous sommes aujourd'hui à peu près indépendants de l'industrie étrangère sous ce rapport, et les produits de nos grandes usines métallurgiques ne sont inférieurs, ni pour la qualité des matières, ni pour les moyens de production.

C'est là un progrès très important qui ne paraît pas devoir s'arrêter au point où nous le voyons actuellement, et nous pouvons espérer entendre sur ce sujet de nouvelles communications bien intéressantes pour toutes les industries dont les progrès dépendent souvent de l'excellence des matériaux mis à leur disposition.

Je parlais tout à l'heure de nos nouvelles voies de transport en projet, de l'intérêt qu'elles présentent pour nous spécialement et de leur influence certaine sur l'avenir de l'industrie nationale; permettez-moi de revenir encore un instant sur ce point.

Notre Société ne doit se désintéresser d'aucune des questions industrielles; chacun de ses membres doit, au contraire, se faire un devoir de veiller à tout ce qui pourrait nuire à la prospérité de l'industrie française ou l'entraver en quelque chose; je crois donc devoir signaler un péril qui n'est peut-être pas actuellement assez aperçu du public et qui me paraît bien grave. Voici ce que je veux dire :

Les grands travaux qui vont être exécutés donneront évidemment, dans quelques années, une puissance beaucoup plus grande à l'industrie nationale, diminuant ses prix de revient et frais généraux, et activant les relations dans une proportion inouïe jusque-là; c'est le but de cette vaste entreprise. Mais en attendant sa réalisation, si, par des abaissements de tarifs douaniers, prématurément, on venait à trop faciliter sur notre sol la concurrence des produits étrangers, n'est-il pas à craindre que les usines françaises se voient enlever, au grand dommage public, cette abondante source de travail à une époque de crise industrielle comme celle-ci, et que, leur existence étant ainsi compromise, elles se trouvent exposées à la ruine; alors qu'un ensemble de travaux gigantesques entrepris spécialement pour améliorer leur situation leur donnerait dans quelques années, par sa réalisation, une activité et une puissance toutes nouvelles et les mettrait en état de lutter avec avantage contre l'étranger ?

C'est là, ce me semble, un danger public considérable : faire de grands travaux pour améliorer les conditions d'existence et de travail de l'industrie française; n'en pas faire profiter cette industrie pendant la construction; et attendre, pour lui être utile, que nombre d'usines aient disparu faute de travail !

Les Ingénieurs civils ne peuvent se désintéresser de l'étude d'une question si grave. Les opinions sont divisées dans le public, chacun a son système; on s'accuse réciproquement d'être protectionnistes ou libres échangistes absolus, sans que cela avance les choses et alors que, de toute évidence, ce me semble, le besoin urgent du moment exigerait au moins le statu quo des tarifs douaniers pour ne pas aggraver une crise déjà bien inquiétante.

Le libre échange est évidemment l'économie politique de l'avenir; mais il ne faut en rien user de théories trop absolues, elles sont périlleuses; et, comme je le disais tout à l'heure, tant que la paix entre les nations

peut être troublée d'un moment à l'autre, serait-il sage de se désarmer en laissant anéantir des usines indispensables à la défense? La plus simple prudence n'exige-t-elle pas d'attendre, au moins, pour abaisser les tarifs, que les grands travaux d'amélioration des transports et de l'activité intérieure soient réalisés; alors surtout, sachons-le bien, que la plupart des autres nations, voisines ou éloignées, au lieu de faire du libre échange, élèvent ou veulent élever leurs droits protecteurs?

Je ne prétends certes, Messieurs, à aucune compétence exceptionnelle sur ces hautes questions; je raisonne en simple industriel, ingénieur et constructeur; mais chacun de nous ne doit-il pas travailler à éclairer ces questions et veiller à ce que de grandes fautes ne soient pas commises dans la situation actuelle?

C'est que, Messieurs et chers Collègues, je n'apprendrai rien à personne en disant que la situation actuelle est grave, non-seulement pour l'industrie française, mais pour celle du monde entier; chacun le sait, et la concurrence étrangère peut acquérir bientôt une intensité absolument destructive, en France, si l'on n'y prend garde.

Les sciences ont fait de grands progrès, l'industrie crée des merveilles, cela est certain, l'Exposition l'a manifesté; mais les besoins de progrès tout nouveaux sont encore plus grands pour l'amélioration nécessaire de la situation industrielle générale et pour donner à la prospérité publique un essor suffisant, relever le travail, en un mot pour sortir de cette crise universelle.

On a cherché depuis longtemps la cause d'un état si grave, datant déjà de loin, de ce mal latent qui s'est accru lentement, progressivement et constamment, et qui, de plus en plus, sévit sur le monde entier. On a tout d'abord parlé de l'effet des guerres, des inquiétudes politiques. Il est évident que la paix, la sécurité et la liberté constituent l'atmosphère indispensable à la vie industrielle; mais il est facile de reconnaître aussi que la crise doit avoir d'autres causes, d'autres origines; qu'elle sévit, non-seulement en Europe, mais aussi dans des pays, comme l'Amérique, qui n'ont pas à se préoccuper beaucoup des graves soucis du vieux monde; que la stagnation commerciale étant générale, la cause doit être générale aussi; et on en est venu à affirmer que la cause de cette crise universelle est le défaut universel et croissant d'équilibre entre la production et la consommation.

Il faut donc accroître la consommation par tous les moyens, par de nouveaux moyens à créer; il faut multiplier les débouchés.

Les grands travaux d'amélioration des voies de transport et de circulation que la France va entreprendre seront certainement bien utiles pour adoucir dans notre pays les effets de la crise. Non-seulement cette vaste entreprise donnera, comme nous l'avons dit, de l'activité au travail intérieur pendant son exécution, si la concurrence étrangère n'est pas trop favorisée, mais de plus, après la réalisation du réseau projeté, l'amélioration des voies et

conditions de transport sera de la plus grande utilité pour la consommation elle-même comme pour l'économie de la production.

Nous pouvons donc espérer que la France, malgré ses désastres et ses charges écrasantes, continuera à souffrir moins que d'autres pays sous le poids de cette stagnation générale des affaires; qu'elle pourra bientôt accroître ses débouchés et arriver à se placer, sous ce rapport, dans les conditions où se trouvent les peuples qui ont le plus et depuis longues années, développé leurs voies de transport et cherché partout des issues nouvelles pour leur production.

Mais il faudra du temps pour en arriver là; il y a longtemps que chaque peuple commerçant travaille dans ce sens, et la situation générale du monde industriel ne s'améliore guère nulle part; il faut donc chercher dans des voies toutes nouvelles, et des publicistes en sont venus à poser en principe que le remède, le seul remède, suivant eux, qui puisse être efficace est celui-ci :

Améliorer le sort moral, intellectuel, physique et social du plus grand nombre; et, par cela même, développer les forces de la consommation, afin d'équilibrer celles de la production.

Vous me blâmerez peut-être, Messieurs, d'aborder un tel sujet, d'effleurer des questions sociales; mon intention n'est pas de m'écarter de ce qui ressortit certainement du domaine des Ingénieurs; mais, n'est-il pas évident que la stagnation actuelle et universelle des affaires est un mal industriel dont nous avons tous à nous préoccuper, dont nous devons chercher les remèdes, et que, si les idées se portent naturellement et spontanément dans le sens que je viens d'indiquer, nous ne pouvons et ne devons nullement nous tenir à l'écart de ce mouvement?

Qui peut et doit plus que nous connaître ces classes laborieuses au milieu desquelles nous vivons et qui constituent, en majeure partie, le plus grand nombre dont il s'agit?

Ne devons-nous pas réfléchir à tout ce qu'un pays libre peut et doit faire pour améliorer le sort de vaillants travailleurs, nos collaborateurs, que nos relations de chaque jour et de toute la vie nous ont fait apprécier et aimer?

Comme l'a dit, en 1872, notre cher collègue Émile Muller, dans son discours d'ouverture de présidence : « Nous avons, nous aussi, l'honneur d'être « des classes laborieuses. »

N'avons-nous donc pas, autant et plus que bien d'autres à dire notre mot dans ces questions si on vient à les traiter, comme cela est bien probable, dans les assemblées délibérantes de la nation? C'est ce que j'ai cru devoir soumettre à vos réflexions.

J'ai cru que, lorsque de graves problèmes de ce genre sont soulevés, il faut les regarder en face, virilement, et les étudier d'avance, chacun dans sa sphère, pour ne pas être pris au dépourvu par la marche des choses, comme cela est arrivé trop souvent à diverses époques. J'ai cru que la solution, bien difficile sans doute, impossible peut-être, sera d'autant plus sérieu-

sement et pratiquement recherchée, analysée, qu'on l'aura envisagée d'avance, avec calme et profonde réflexion, en connaissance de cause.

L'instruction générale et professionnelle est certainement le premier et le plus puissant moyen d'amélioration du sort du plus grand nombre. Il faut donner aux travailleurs le goût et la connaissance raisonnée des principes et des notions théoriques qui servent de base à leurs travaux de chaque jour; et ne sont-ce pas des Ingénieurs qui, vulgarisant les sciences dans les cours publics et gratuits, transmettent libéralement et avec un zèle tout philanthropique ces notions aux classes laborieuses?

La création d'Écoles d'apprentissage nouvelles, nombreuses et fécondes, pour les diverses professions industrielles est aussi réclamée de plus en plus; c'est là une branche bien importante de l'instruction populaire et professionnelle pour laquelle l'intervention des Ingénieurs et des chefs d'industrie est naturellement indiquée et évidemment nécessaire.

Pour arriver à la meilleure solution de l'apprentissage, il faudra de longues et patientes études et aussi, il faudra les leçons de l'expérience.

Tout ce qui pourra faciliter et rendre moins onéreuse l'éducation de l'enfant sera, pour les travailleurs de tout rang social, un immense bienfait. Il y a tout un ensemble de lois à faire dans ce sens et dans ce but.

Je n'en dirai pas davantage, Messieurs, sur la question d'amélioration industrielle, morale et sociale, que je viens d'effleurer; je laisse à d'autres, pour d'autres temps et pour d'autres enceintes, la recherche de ce qui est positivement du domaine des questions sociales et politiques, ne voulant pas et ne devant pas les aborder ici.

Je crois seulement que chacun de nous ne saurait trop et trop tôt réfléchir à ces graves problèmes; car ce serait se faire une grande, étrange et dangereuse illusion que de ne pas voir qu'ils sont à la porte, qu'ils apparaissent d'eux-mêmes et se poseront, pacifiquement, mais nécessairement, inévitablement, dans le libre développement des institutions de notre pays et dans l'organisation industrielle du monde entier.

Je vous prie, Messieurs et chers Collègues, de me pardonner de vous avoir entretenus de ces questions; il m'a paru qu'elles sont dans l'actualité des choses et que, ressortissant en partie considérable du domaine de l'Ingénieur, elles devaient être indiquées comme un des éléments qui pourront, chacun à son heure, faire l'objet de nos études au point de vue technique et industriel.

Je serai certainement, Messieurs, votre interprète en adressant tous nos remercîments au Bureau de 1878, Président et Vice-Présidents, et, en particulier, à notre cher et honoré Président M. Tresca, qui, pendant toute la durée de l'Exposition, comme pendant sa préparation, a représenté si dignement notre Société et le génie civil français devant les délégués et le public de toutes les nations, et devant les autorités françaises et étrangères de tout degré.

Nous devons à M. Tresca et au bureau de 1878 d'avoir obtenu pour la

Société des Ingénieurs civils la plus haute récompense, le diplôme d'honneur. Vous n'êtes plus seulement Société reconnue d'utilité publique, vous êtes ainsi reconnus de fait comme représentation du Génie civil français, honorant la France et contribuant puissamment à sa prospérité.

Je remercie aussi M. Tresca de l'appui énergique et cordial qu'il a constamment donné, au nom de notre Société et comme Président du sixième groupe du Jury, à tous ceux de nous qui en ont eu besoin dans ce grand concours international.

Nous avons tous trouvé en notre Président un collègue, un ami, toujours actif et dévoué, en circonstances souvent graves ; et ne ménageant ni sa peine ni ses démarches, pour la défense des intérêts français et des Ingénieurs civils; et pour mettre en lumière, comme il l'avait annoncé dans son discours du 4 janvier 1878, toutes les forces de notre Société.

Dans le bureau de 1878, que je dois remercier en votre nom, nous comptions comme Vice-Président notre cher et bien regretté collègue De Dion, mort au champ d'honneur; je dois donc, après notre Président, M. Tresca, rendre moi aussi, en votre nom, hommage à sa mémoire.

Ancien Président de 1877 et Ingénieur en chef des constructions métalliques de l'Exposition universelle, il ne lui a pas été donné de vivre assez pour voir le complet succès de ses savants calculs, le fruit de son labeur; il est mort à la peine. Nos regrets et tous les témoignages de notre estime profonde et de notre affection l'ont accompagné à sa dernière demeure, et perpétueront son souvenir parmi nous.

Chacun de nous, Messieurs, trace ainsi son sillon dans la vie, dans notre belle et si intéressante profession d'Ingénieur; le sol est souvent bien dur, la peine est grande, et, parfois, l'on succombe avant d'avoir creusé le sillon tout entier; mais l'ouvrage reste dans le sol et dans la mémoire des hommes.

N'est-il pas vrai que chacun de nous, à mesure qu'il avance dans sa course, aime et apprécie chaque jour davantage le caractère élevé et véritablement grand de notre profession? Pour moi, j'ai compris de plus en plus ce que contenait de vrai, sous sa forme paradoxale et excessive une parole que, dans mon enfance, j'avais entendue de la bouche d'un vieil inventeur bien méritant et, pourtant, pauvre, malheureux et incompris, comme ils le sont presque tous trop souvent, comme ils l'étaient surtout dans ce temps-là, et qui me disait, à moi, encore enfant :

« Après Dieu, le travailleur le plus grand, c'est l'Ingénieur ; car Dieu a « fait la matière, et l'Ingénieur, le mécanicien, la met en œuvre, en mouve- « vement, pour accomplir, lui aussi, avec l'aide de Dieu, de grandes « choses. »

Le pauvre inventeur exagérait évidemment sa pensée; mais il se consolait ainsi des misères de la vie.

Telle est donc notre profession; après les choses divines de la saine philosophie, les choses de la patrie et l'amour de l'humanité, rien n'est plus

grand, plus noble, plus digne de l'activité humaine que les choses de la science, c'est-à-dire que la carrière d'Ingénieur.

Étudier toutes les forces de la nature, leur origine et leurs lois, les utiliser et les développer; travailler constamment à accroître la prospérité et la puissance défensive de la patrie et de l'humanité tout entière contre le Mal et contre la Misère; et, quelque longue que soit l'existence, trop souvent abrégée par le travail et par la lutte, la trouver toujours bien trop courte pour l'œuvre à accomplir, telle est, depuis Archimède, notre glorieux prédécesseur, la vie de l'Ingénieur.

A l'encontre de ce qui se passe trop souvent dans les choses habituelles de la vie, il nous faut toujours chercher, non une vérité hypothétique, arbitraire, plus ou moins rabaissée à la mesure des intérêts, mais la vérité réelle; c'est la seule que l'homme des sciences exactes et expérimentales, l'Ingénieur, puisse chercher et défendre; car elle seule jaillit, lumineuse, du choc des opinions et surtout des faits d'expérience. Notre profession est donc une de celles qui exigent et développent le plus la rectitude du jugement, la droiture des intentions et l'énergie du caractère; et c'est pourquoi nous l'aimons, l'honorons et ne voudrions la changer pour aucune autre, malgré les fatigues et, parfois, les souffrances, les amertumes qu'elle nous impose.

Marchons donc avec courage dans notre voie, travaillons à accroître et développer toutes les ressources de la France et de l'Humanité; soyons les imitateurs de nos pères, de nos maîtres, et de nos illustres devanciers; au milieu des défaillances et des misères contemporaines, restons, comme eux, des hommes de travail et de devoir; nous serons ainsi toujours, et nous apprendrons à nos fils à être, eux aussi, des ingénieurs.

Je termine, Messieurs et chers Collègues, en vous remerciant de nouveau et vous demandant, encore une fois, toute votre indulgence et votre concours.

MM. Barthélemy, Battaille, Bocquin, Gallais, Guérin, Maréchaux, Lesueur, Przewoski, Routkowsky, Serot, Studer et Vernier ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 24 Janvier 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 10 janvier est adopté.

M. le Président annonce que M. Émile Muller vient d'être nommé Officier de la Légion d'honneur et MM. Chapman, Brisse et Laming Chevaliers du même Ordre. M. Cottrau a été nommé Commandeur de l'Ordre de la couronne d'Italie.

M. le Président donne la parole à M. Émile Barrault pour sa communication sur la loi Espagnole et le Compte-rendu du Congrès de la Propriété industrielle.

M. Émile Barrault dit :

Membre de la Société des Ingénieurs civils depuis ma sortie de l'École Centrale et disciple de notre premier Président et fondateur, M. Eugène Flachat, j'ai pu constater, dès le moment où je me suis dévoué spécialement à la question des Brevets d'Invention et de la Propriété industrielle en général, combien il existait de préjugés à combattre en ce qui concerne ces graves sujets.

Les uns, ce sont les inventeurs en général, se faisaient de leurs droits une idée trop étendue en les admettant jusqu'au delà de la véritable limite ; par suite, ils effrayaient les constructeurs et les administrations, spécialement les administrations de chemins de fer.

Les autres ne voyaient que les difficultés, les ennuis résultant des prétentions exagérées des inventeurs, et surtout des inepties souvent brevetées ; et par suite ils comprenaient sous le même dédain les droits des inventions véritables et les prétentions ridicules également brevetées.

Aujourd'hui le temps a fait son œuvre ; les hommes qui suivent sérieusement ces questions occupent dans notre Société, et dans la société en général, la position de conseils estimés et respectés ; et, dans la Commission nommée par le Gouvernement français, pour l'organisation du Congrès de la Propriété industrielle dont j'aurai à vous entretenir aujourd'hui, les cinq solliciteurs de brevets qui en faisaient partie étaient tous des membres de notre Société sortis de l'École Polytechnique et de l'École Centrale.

La communication que je viens vous faire aujourd'hui confirmera, je l'espère, dans vos esprits cette idée que les brevets d'invention jouent un

rôle important dans l'industrie lorsqu'on a soin de distinguer entre les prétentions *ridicules* qui peuvent être brevetées, et les droits *légitimes* qui sont couverts par ce titre modeste dont la valeur, indépendante de la forme, ne résulte que du fond même qui est l'objet de la demande du brevet.

M. Émile Barrault établit ensuite l'importance, au point de vue des Ingénieurs civils, de tout ce qui concerne la Propriété industrielle; car, à chaque instant, l'Ingénieur, le Manufacturier, le Fabricant peuvent avoir à sauvegarder une propriété qu'ils viennent de constituer, ou bien à respecter la propriété d'un autre.

C'est une des branches encore peu connue et surtout peu appréciée de l'Économie politique et sociale; aussi, je vous demande la permission d'insister sur ce point particulier.

J'ai lu beaucoup de traités sur l'Économie politique, et dans aucun je n'ai trouvé une étude sérieuse de la propriété industrielle et intellectuelle; cependant vous savez tous que cette science nouvelle traite de la richesse des nations, recherche les causes qui font une nation plus riche et plus prospère qu'une autre.

Or, je le demande, est-il une cause de richesse plus grande que celle qui, *sans toucher aux propriétés existantes*, vient y ajouter dans une proportion considérable?

Les inventeurs de la machine à vapeur, du télégraphe électrique, des chemins de fer, des machines électro-magnétiques, de la soude artificielle, de l'acier, des machines-outils, etc., n'ont-ils pas augmenté la richesse publique dans une proportion considérable, tout en constituant pour eux-mêmes une propriété importante dont le capital acquis peut se comparer aux produits les plus importants réalisés par d'autres moyens?

Il est inutile, je crois, d'insister, et j'ajouterai que la création de bons dessins industriels, de marques de fabrique estimées, d'un nom commercial honorable, constituent également des propriétés découpées par le travail et l'intelligence dans ce champ toujours ouvert aux travailleurs, et dans lequel il n'existe pas de limites comme il en existe malheureusement pour ce qui concerne les propriétés foncières et mobilières.

Les brevets d'invention sont donc un moyen d'acquérir la richesse, non pas aux dépens d'autrui, mais en vertu d'un service social rendu; et, pour ne pas laisser subsister d'objection, je n'ai qu'à prendre aux Économistes la définition de la richesse qui se compose, suivant les plus autorisés d'entre eux, de toutes choses *transmissibles*, *utiles et en quantités limitées*.

Nous pouvons conclure de ce qui précède que la richesse d'un pays augmente toutes les fois que les lois sur la propriété industrielle y sont améliorées; et, s'il fallait en donner une preuve pratique, il suffirait de constater que la richesse industrielle des diverses nations est en rapport direct avec l'ancienneté de la protection, ainsi qu'avec les facilités et la loyauté de cette protection accordée aux inventeurs, fabricants et artistes industriels.

Mais, lorsqu'une nation améliore ses lois sur la propriété industrielle, elle ne rend pas seulement service à ses nationaux; elle ouvre aussi un champ fécond aux inventeurs étrangers, et les progrès qu'elle provoque enrichissent également les autres pays qui prennent possession de ces mêmes progrès.

Vous voyez alors, Messieurs, l'intérêt qui s'attache à toute nouvelle loi sur les Brevets; et c'est en vertu de cet intérêt que je vais vous exposer le mécanisme de la loi espagnole du 30 juillet 1878, laquelle comporte un progrès sensible sur la loi ancienne du 27 mars 1826.

La nouvelle loi se compose de onze chapitres traitant :

1° Des dispositions générales;
2° De la durée et de la taxe des brevets;
3° Des formalités pour la délivrance;
4° De la publication des brevets;
5° Des certificats d'addition;
6° De la cession et de la transmission des droits;
7° Des conditions pour le maintien du privilège;
8° De la nullité, de la déchéance;
9° De la contrefaçon;
10° De la juridiction;
11° Des dispositions transitoires.

Soit en tout 62 articles de loi que nous n'étudierons pas en détail, mais dont nous allons noter les points essentiels.

Le brevet espagnol est considéré comme une concession du gouvernement, comme un privilège accordé, et non comme la consécration d'une propriété préexistante.

En France, un produit breveté ne peut être obtenu même par d'autres moyens que ceux décrits par le breveté.

En Espagne, l'art. 4 prévoit au contraire expressément que les brevets qui auront pour objet des produits, ou résultats nouveaux, ne seront pas un obstacle à ce que d'autres brevets soient accordés pour obtenir les mêmes produits, ou résultats, par d'autres moyens ou procédés.

La nouveauté, en Espagne, existe en vertu de l'art. 5, pour tout ce qui n'est pas connu ou pratiqué dans les possessions Espagnoles; mais l'inventeur étranger se trouve protégé pendant deux années, comme on le verra plus loin.

Le brevet est valable pour les colonies d'outre-mer comme pour l'Espagne, tandis que précédemment il fallait prendre des brevets à Cuba, à Porto-Rico et aux Philippines, en plus du brevet d'Espagne, si l'on voulait être protégé dans les colonies.

On n'accorde des brevets en Espagne, comme en France d'ailleurs, ni pour les résultats industriels en eux-mêmes, ni pour les produits naturels, ni pour les principes et découvertes purement scientifiques, ni pour les

plans et combinaisons de crédit, ni pour les préparations pharmaceutiques.

La durée des brevets est de vingt années pour tout brevet pris d'abord en Espagne;

— De dix années pour tout titulaire d'un brevet étranger pris depuis moins de deux années;

— De cinq années pour toute *importation*.

Il n'y a pas de prolongation possible pour la durée.

Le paiement se fait par annuités progressives de 10 — 20 — 30 — 40 — .... 200 francs, comme pour la Belgique; mais, avec l'exigence française, c'est-à-dire le paiement devant rigoureusement être fait avant ou à la date d'échéance.

Il ne faudrait pas croire que les frais de demande du brevet soient aussi modérés qu'en Belgique, parce que la taxe brute est la même; les exigences administratives augmentent ces frais dans une proportion qui n'existe dans aucun autre pays, sauf en Portugal.

Il faut une procuration, dont les frais reviennent à trente-cinq francs environ; il faut (art. 21) payer la valeur du papier timbré sur lequel doit être délivré le brevet; il faut (art. 17) payer les frais d'envoi des pièces, etc., etc. On sait d'ailleurs, par expérience, combien en Espagne les frais accessoires augmentent les frais indiqués officiellement.

Un grand progrès, imité de la France, c'est le système des additions qui peuvent être jointes au brevet, moyennant une taxe fixe de vingt-cinq francs, et qui prennent fin avec le brevet principal.

Je ne parlerai pas des formalités pour la délivrance des brevets; elles sont minutieuses et je regrette d'en voir figurer dans la loi toute l'énumération; elles auraient mieux trouvé place dans un règlement facilement modifiable. Un point doit toutefois être retenu : les descriptions en double expédition doivent être rédigées en espagnol, et les dessins, également en double expédition, faits sur toile à calquer, à l'encre de Chine, et à une échelle métrique décimale.

Je regrette aussi que la loi espagnole n'ait pas suivi la voie tracée par l'Angleterre et les États-Unis, et adoptée par l'Italie, l'Allemagne et la Belgique, en déterminant des cadres précis pour les dessins.

Les titres des brevets sont publiés dans le *Journal Officiel* tous les trois mois; mais il n'y a pas de publications officielles des textes et dessins; toutefois, les pièces des brevets sont visibles au Conservatoire des Arts, et l'on peut en prendre des copies à ses frais, sans payer de taxe comme l'exige la loi française.

Nous devons regretter encore qu'il n'y ait pas de publication organisée à un prix modique, comme en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne; c'est là un progrès qui s'impose aux législateurs qui s'occupent aujourd'hui de renouveler les dispositions légales relatives aux brevets d'invention.

Signalons enfin une exigence non moins regrettable pour le maintien du

brevet; c'est la nécessité d'une preuve officielle de l'exploitation dans les deux ans devant un délégué du Conservatoire des Arts, et sans prolongation possible de ce délai, à moins d'une loi qui ne peut accorder que six mois. Combien d'inventions succomberont à cette exigence, s'il n'y a pas quelque adoucissement apporté sur ce point dans la pratique! On sait, en effet, que pour des machines, pour une innovation importante, un délai de deux ans ne peut suffire, et d'ailleurs les frais d'établissement seraient trop considérables dans certains cas. Je crois donc devoir critiquer sévèrement cette disposition qui vient de ce vieux malentendu, que les intérêts de la société sont en opposition avec ceux de l'inventeur breveté, ce qui est complètement erroné.

Il faut de plus continuer et ne pas cesser d'exploiter pendant un an et un jour, à moins de cas de force majeure; mais la mise en pratique de cette disposition sera nécessairement moins draconienne que celle de la disposition citée plus haut.

Il est encore un point qu'il est important de signaler : dans l'ancienne loi espagnole, le brevet protégeait seulement la fabrication, ou l'exécution dans le pays de l'objet breveté, de telle sorte que si l'on introduisait de l'étranger la machine, ou l'objet breveté, il n'y avait pas contrefaçon.

Ainsi la dynamite *Nobel* ne pouvait être fabriquée dans le pays puisqu'il y avait un brevet; mais on pouvait introduire en Espagne de la dynamite *Nobel* fabriquée en Allemagne, sans que le possesseur du brevet espagnol put saisir; *Bickford* était breveté en Espagne pour ses mèches de sûreté, et tout le monde pouvait en introduire....

La contexture des articles 49, 50, 51 et 52 de la nouvelle loi me fait croire que celle ci laisse la même latitude aux importations d'objets fabriqués à l'étranger, conformément au brevet espagnol, ce qui dans beaucoup de cas enlèvera toute valeur à ce privilège.

Une innovation de cette nouvelle loi espagnole est l'établissement de *jurys industriels;* mais, en attendant qu'ils soient organisés, ce qui peut être long, toutes les actions seront portées devant les tribunaux ordinaires.

Pour conclure, il faut dire qu'il y a certainement un grand progrès réalisé par la nouvelle loi; mais quelques dispositions sont malheureuses et pourront nuire au développement de l'industrie en Espagne; ce pays a donc beaucoup à faire encore pour donner aux inventeurs la protection et la liberté qui sont nécessaires pour leur permettre d'exercer une action bienfaisante.

M. Émile Barrault dit ensuite :

J'ai maintenant à vous rendre compte du Congrès international de la Propriété Industrielle en ce qui peut intéresser les Ingénieurs, les Constructeurs-mécaniciens, et les Manufacturiers et Fabricants en général; vous comprendrez par conséquent que je laisse de côté quantité de détails pour me tenir à certains points essentiels.

Le Congrès a été tenu à Paris depuis le 5 jusqu'au 17 septembre 1878; il avait été organisé par une Commission française de cinquante membres nommés par le Gouvernement en mai dernier et composée d'hommes connus pour s'occuper spécialement, par suite de leur position, des questions qu'il s'agissait d'étudier. Un certain nombre des membres de notre Société faisait partie de ce Comité; c'étaient, après M. Tresca, notre Président, MM. Armengaud aîné, Armengaud jeune, Émile Barrault, Desnos, Péligot et Thirion (Charles).

Après rédaction du programme des études à faire, le Comité chargea quelques-uns de ses membres de préparer les travaux par un compte-rendu de l'état des choses au point de vue international, jusqu'au moment où les débats seraient ouverts.

M. Renouard, sénateur et ancien procureur-général à la Cour de cassation, avait dirigé les études de la Commission; il mourut avant l'ouverture du Congrès qui fut présidé par M. Bozérian, sénateur, d'accord avec les délégués nommés par les puissances étrangères, parmi lesquels nous avons encore le plaisir de signaler un de nos collègues, M. Pollok, représentant les États-Unis.

La première question de toutes, en fait de propriété industrielle, était de savoir si c'était bien une propriété, ou si, au contraire, ce n'était que le résultat d'un privilège accordé par les divers gouvernements; déjà le Congrès international de Vienne, tenu en 1873, avait mis hors de question le droit des inventeurs, mais il restait à déterminer quelle était la nature de ce droit.

Le Congrès a décidé après une longue discussion que :

« Le droit des inventeurs et des auteurs industriels sur leurs œuvres, ou
« des fabricants et négociants sur leurs marques, est un droit de propriété;
« que la loi civile ne le crée pas; qu'elle ne fait que le règlementer. »

Mais, tenant compte des différences considérables qui existent entre les divers genres de propriétés industrielles et celles foncières ou mobilières, le Congrès a déterminé des durées pour chaque genre de propriétés industrielles; ainsi, tandis que, pour les inventions, il indiquait dix-sept ans au minimum pour les brevets ou patentes, pour les dessins et modèles industriels, le Congrès décidait une durée de 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 ou 30 ans, à la volonté du déposant.

On sait que, pour les marques de fabrique, on arrive dans presque tous les pays à la perpétuité de la possession par un renouvellement fait à des époques déterminées.

Le rapprochement que l'on peut faire de ces applications pratiques, différentes suivant les cas et comprises cependant sous la même dénomination de *propriétés*, montre qu'il ne faut pas attacher un sens trop restrictif à ce mot que l'on a l'habitude d'appliquer aux possessions perpétuelles, territoriales ou mobilières.

Il est important de comprendre la pensée du Congrès qui a voulu laisser

aux dépositaires de marques et noms commerciaux une possession complète et perpétuelle à leur volonté, parce que seuls les possesseurs de marques ou de noms donnent valeur à leurs marques par leur bonne fabrication ou l'extension de leur commerce sans rien emprunter à la société.

Au contraire, pour les inventions, il existe deux copropriétaires : la Société, qui possède les éléments du fonds commun, et l'innovateur qui apporte soit un élément nouveau, soit une nouvelle coordination des éléments connus pour réaliser un produit ou un résultat industriel.

L'accord d'un droit exclusif temporaire a cet avantage de satisfaire à l'intérêt social sans laisser dans une indivision regrettable les droits des copropriétaires; l'inventeur commence par jouir exclusivement; mais, au bout d'un temps déterminé, l'œuvre revient au domaine public, de manière à laisser aux inventeurs de l'avenir la possibilité de faire progresser l'industrie à leur tour, en leur permettant des appropriations successives dont chacune n'est exclusive que momentanément, et qui retournent, après chaque période, au fonds commun, pour se trouver soumises à de nouvelles combinaisons et à de nouvelles appropriations.

Après ce premier vote du Congrès, un grand résultat était obtenu déjà, car on reconnaissait qu'il était possible de se mettre d'accord avec toutes les puissances civilisées sur certains points essentiels, et d'établir une convention internationale dans laquelle on règlerait un accord pour la propriété industrielle, comme cela avait déjà eu lieu pour les postes et les télégraphes.

Je ne sais, Messieurs, si vous vous rendez bien compte de l'importance d'une telle réalisation qui ferait respecter à l'étranger vos travaux industriels et vos inventions, en vous assurant la propriété exclusive de votre nom commercial, de votre marque de fabrique, de vos dessins et modèles, de vos machines ou procédés nouveaux.

Les membres les plus importants des neuf pays qui assistaient au Congrès se réunirent et préparèrent les résolutions qui, votées depuis, ont permis d'établir une Commission permanente internationale du Congrès de Paris pour la propriété industrielle; cette commission ayant pour objet d'assurer, dans les limites du possible, la réalisation, par des lois et conventions internationales, des résolutions adoptées par le Congrès.

Dans les cinq jours de discussion qui précédèrent la décision qui établissait une commission permanente, le Congrès avait élucidé trois autres points essentiels, concernant les produits chimiques et pharmaceutiques, l'examen préalable et les licences obligatoires, ce qui rendait définitif l'accord des différentes nations.

Je ne vous entretiendrai pas des dispositions générales recommandées par le Congrès pour faciliter les dépôts, développer la publicité dans des conditions semblables à celles adoptées aujourd'hui aux États-Unis, en Angleterre, en Allemagne, etc., etc.; tout le monde était d'accord, et c'est aussi à la presque unanimité qu'il a été décidé que les étrangers doivent être assimilés aux nationaux pour être protégés *sans aucune exigence de réciprocité.*

La discussion, au contraire, a été très vive sur la brevetabilité des produits chimiques et pharmaceutiques, question fort importante pour tous les ingénieurs et manufacturiers.

Aujourd'hui la situation est la suivante :

En France, Belgique, Angleterre, État-Unis, Autriche, Suède, Russie, Italie, on peut faire breveter un produit chimique, indépendamment du moyen ou du procédé par lequel il sera fabriqué.

Au contraire, en Allemagne, Espagne, on ne peut jamais breveter le produit, mais seulement le procédé ; et, en Suisse comme en Hollande, il n'y a pas de brevets du tout.

Chacun se rappelle ici les grandes découvertes de produits nouveaux : caoutchouc galvanisé, couleurs extraites de l'aniline, garancine, vaniline, etc., etc., et l'on comprend combien d'intérêts sont engagés pour ou contre l'une ou l'autre des solutions en question.

Après une discussion très approfondie, le Congrès a décidé que les produits chimiques et alimentaires seraient brevetables, et, ce qui l'a décidé, c'est que, dès le moment où il était admis que le brevet était utile, il était nécessaire de l'accorder pour le produit; car étant fabriqué, ce produit ne révèle pas le procédé employé pour l'obtenir.

A ce propos, M. Pollok a cité un fait assez peu connu et très intéressant au point de vue qui nous occupe.

Les États-Unis accordent des privilèges pour les produits en eux-mêmes, quel que soit le procédé, mais aussi pour les procédés qui permettent d'obtenir ces produits.

L'inventeur du caoutchouc vulcanisé ne se rendant pas compte de l'importance du produit qu'il avait découvert, prit le brevet pour le procédé, et, par suite, des contrefaçons se firent à l'étranger, qui permirent d'introduire aux États-Unis les mêmes produits, aux dépens de l'inventeur et du travail national.

Heureusement la loi des États-Unis présente une disposition, connue sous le nom de *reissue*, qui permet de parer aux inconvénients de cette nature; l'inventeur remit son brevet au gouvernement et demanda qu'on lui rendît, en échange, un brevet appuyé sur les mêmes considérations, mais réclamant le produit nouveau en plus du procédé décrit pour l'obtenir, et de cette manière la contrefaçon fut anéantie.

En ce qui concerne les produits pharmaceutiques, la question était plus délicate encore ; en effet, si l'Angleterre et les États-Unis accordent des patentes pour ces produits, la France, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie, l'Autriche, la Suède, etc., etc., les ont toujours refusées.

Entraîné par la logique, le Congrès a décidé que les produits pharmaceutiques pourraient être brevetés, et, en conséquence, le vœu suivant a été formulé :

« Toutes inventions, tous procédés ou produits sont brevetables, en de-
« hors des combinaisons ou plans de finances et de crédit, ou d'inventions
« contraires à l'ordre public ou aux bonnes mœurs. Des brevets doivent être

« accordés aux inventeurs de produits chimiques, alimentaires et pharma-« ceutiques. »

Une autre question venait ensuite, et vous comprendez bien vite qu'elle était d'une importance capitale.

Faut-il un examen préalable de l'utilité et surtout de la nouveauté de l'invention, avant la délivrance des brevets? Ou bien faut-il délivrer les titres sans aucun autre examen que celui qui porte sur des points administratifs définis, tels que la régularité des pièces, l'exactitude du titre, la clarté de la description, l'unité de la demande, etc.

Les États-Unis, l'Allemagne, la Russie et la Suède ont adopté l'examen préalable.

L'Angleterre, la France, la Belgique, l'Italie, l'Autriche, l'Espagne, ont pris le système de la délivrance des brevets sans examen et sans garantie du gouvernement (S. G. D. G.).

Était-il possible de trouver un moyen d'établir une règle acceptable pour tous ces pays, étant bien entendu que la France et les Français, ayant reconnu l'avantage de leur système, ne voudraient, sous aucun prétexte, en changer?

Voici de quelle manière il a été possible d'arriver à une solution pratique :

Quel est le motif allégué pour soutenir l'examen préalable? c'est la crainte de nuire au commerce et à l'inventeur en délivrant des brevets trop nombreux et souvent inutiles, puisqu'il s'agit d'objets déjà connus; cet argument était valable autrefois pour les titres dont la taxe est payée en une seule fois, comme aux États-Unis ou en Russie; mais, avec le système de taxe annuelle, il ne signifierait rien. Aujourd'hui, il existe contre l'examen préalable une raison décisive et absolue; c'est qu'il est impossible matériellement, en face des cinq cent mille brevets existants, et qu'il deviendra tous les jours plus impossible, de savoir si une invention est ou non nouvelle. De plus, les dépenses pour les recherches nécessaires sont considérables, l'injustice est facile, la corruption possible et le tort causé irréparable.

Au lieu d'éliminer les brevets au début par un examen préalable et par une sorte de coup d'autorité, au nom de compétences prétendant à une quasi-infaillibité, la France, la Belgique, l'Autriche, l'Italie, l'Angleterre et l'Espagne laissent toute liberté à l'inventeur pour émettre et formuler ses prétentions; puis, la mise en jeu naturelle de l'intérêt social et de l'intérêt personnel fait sentir leur double action avec une puissance qui croît, avec le nombre des années qui s'écoulent, par l'effet du retour périodique de la taxe à payer; et voici ce qui se passe :

En France sur 4,000 brevets accordés en moyenne par année, 2,000, c'est-à-dire la moitié, tombent à l'époque du paiement de la seconde annuité, par suite de la renonciation de l'inventeur lui-même; (or l'examen préalable aux États-Unis ne repousse que 25 °/₀ des brevets demandés.)

A la troisième année, il ne reste plus que 33 °/₀ des brevets demandés,

soit 1320 sur 4000, et, disons-le de suite, à la huitième année, il ne reste plus que 1/10e, soit 400 des brevets en vigueur.

Enfin 5 %, ou 200 brevets sur 4000, arrivent jusqu'au terme des quinze années de privilège.

La liberté laissée aux inventeurs donne donc ce merveilleux résultat sans frais pour le Gouvernement, sans trouble pour qui que ce soit, sans plainte possible pour l'inventeur; n'est-ce pas là une solution pratique du problème cherché ?

Les chiffres donnent la même solution pour ce qui concerne les autres pays :

En Angleterre, pour 1868 :

Il est demandé 3993 protections provisoires;

1501, soit 42 %, tombent à la transformation en patente;

Au bout de six mois il reste donc	2,490	patentes;
A la troisième année, il n'en reste plus que.	729	—
A la septième année, il n'en reste plus que	272	—

soit 6,81 % et il est tombé 3719 demandes.

Pour la Belgique, à la deuxième année, il tombe environ 50 % des brevets demandés.

Pour l'Italie, sur 374 brevets demandés en 1868, il n'en restait plus que 93 à la neuvième année.....

Il est inutile de pousser plus loin cette étude qui démontre la supériorité du système des taxes périodiques, et surtout annuelles, sans examen préalable, sur le système des taxes uniques payées immédiatement après examen préalable, lorsqu'il s'agit de sauvegarder les intérêts de la société aussi bien que ceux des inventeurs.

Le Congrès, éclairé par la discussion, repoussa toutes les propositions d'examen préalable; mais, dans le but très précis d'établir un terrain de transaction, et en réservant les moyens d'application, la proposition suivante fut adoptée :

« Le brevet d'invention doit être délivré à tout demandeur *à ses risques* « *et périls*.

« Cependant il est utile que le demandeur reçoive un avis préalable et « secret, notamment sur la question de nouveauté, pour qu'il puisse, à son « gré, maintenir, modifier ou abandonner sa demande. »

Cet avis préalable est utile, en effet, et, dans la pratique, il est donné par les solliciteurs de brevets d'invention lorsqu'une demande est confiée à leurs soins.

Mais ce qui était d'une importance capitale, c'est que les délégués officiels de certains pays tenaient essentiellement à cette disposition d'avis préalable dont l'adoption leur permettait de se rallier franchement au projet d'une convention internationale.

Le Congrès a décidé ensuite, en conséquence de cette résolution, que les

brevets seraient soumis à une taxe périodique ou annuelle, progressive et partant d'un chiffre modéré au début.

Une autre question pouvait encore amener des difficultés : c'était celle des licences obligatoires, qui a des partisans assez nombreux et surtout très obstinés.

Le système des licences obligatoires est d'origine allemande et ne se trouve que dans la seule loi de l'empire d'Allemagne.

Mais la Suisse en est très partisane.

Il est facile de comprendre que c'est le système adopté en désespoir de cause par tous les pays et par toutes les personnes qui, autrefois, repoussaient l'inventeur et lui refusaient tout droit.

La grande erreur sur laquelle repose ce système est celle de mettre en opposition les intérêts de l'inventeur avec ceux de l'industrie et de la société.

L'opposition vient surtout des commerçants qui veulent toujours faire baisser les prix en mettant aux prises des concurrents, quitte à n'obtenir qu'une marchandise frelatée, avec des matières de seconde ou de mauvaise qualité, n'ayant que l'apparence, et dont le consommateur ne veut plus lorsqu'une fois il l'a expérimentée.

En résumé, le Congrès décida que :

« Les brevets devaient assurer, pendant toute leur durée, aux inventeurs, « ou à leurs ayants cause, le droit exclusif d'exploiter l'invention, et non « un simple droit à une redevance qui leur serait payée par les tiers ex- « ploitants. »

Que « Le principe de l'expropriation pour cause d'utilité publique serait « applicable aux brevets d'invention. »

Que « Le caractère d'utilité publique devait être reconnu par une loi. »

J'aurai terminé ma tâche, lorsque je vous aurai fait savoir que le Congrès a formulé le désir que les taxes d'annuités puissent être payées pendant un certain délai après l'échéance, comme en Belgique, en Italie et en Allemagne, et que l'on puisse introduire de l'étranger des machines établies d'après l'invention, avec l'autorisation du breveté; enfin, que :

« Les droits résultants des brevets demandés (ou des dépôts effectués « dans les différents pays), soient *indépendants* les uns des autres, et non « pas solidaires, en quelque mesure que ce soit, comme cela a lieu aujour- « d'hui pour beaucoup de pays. »

Cette disposition importante existe déjà en Belgique où les brevets ont la même durée que la durée *normale* des brevets étrangers pris antérieurement.

L'Espagne se trouve dans les mêmes conditions, mais avec une durée toujours limitée à dix années seulement.

Le Congrès de Paris n'a pas terminé l'examen de toutes les questions qui lui étaient soumises; mais la Commission permanente, nommée par lui, fait ce travail en ce moment.

Ce qui est de la plus grande importance, c'est que le Ministre du commerce et de l'agriculture, M. Teisserenc de Bort, a accepté officiellement de prendre l'initiative pour qu'une Commission internationale soit appelée à traiter officiellement les questions relatives à une législation uniforme sur la propriété industrielle.

M. le Président remercie M. Barrault de son intéressante communication.

MM. Artus, Crouau, Finet et Mignot ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 7 Février 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 24 janvier est adopté.

M. le Président annonce que M. Richou vient d'être nommé Officier d'Académie.

M. Dornès donne communication de son Mémoire sur la construction et l'exploitation d'une ligne secondaire d'intérêt général. (Le chemin de fer de *Vitré à Fougères et la baie du Mont-Saint-Michel.*)

Dans ces derniers temps, à l'occasion des débats parlementaires auxquels a donné lieu la question des chemins de fer, on a cité des chiffres tellement contradictoires, qu'il nous a paru intéressant de faire connaître quelques données exactes sur la construction et l'exploitation d'un chemin de fer qui, par sa situation, son tracé et son trafic, représente assez bien le type moyen des lignes à construire pour compléter notre réseau de voies ferrées.

Cette étude nous a paru d'autant plus utile que nous avons pu constater par nous-mêmes, la pénurie de renseignements quelque peu détaillés publiés sur la construction et l'exploitation de chemins de fer dits économiques.

Afin que les résultats groupés, dans cette étude, puissent jusqu'à un certain point servir de termes de comparaison, à côté des tableaux indiquant le détail des frais de construction et d'exploitation, nous avons placé les principaux renseignements statistiques sur les conditions techniques d'établissement de la ligne que nous étudions, en les faisant suivre de quelques considérations et observations pratiques sur les résultats obtenus.

— Cette Note devant être publiée, nous nous bornerons à en donner un résumé très succinct en citant seulement les chiffres principaux qu'elle contient.

La ligne de Vitré à la baie du Mont-Saint-Michel est composée de deux sections distinctes au point de vue de la déclaration d'utilité publique et de la concession.

La première partie de Vitré à Fougères (37 kilomètres) fut concédée et construite comme ligne d'intérêt local.

La deuxième section de Fougères à Moidrey (44 kilomètres) fut au contraire déclarée d'utilité publique comme ligne d'intérêt général et concédée et construite suivant le cahier des charges qui régit les concessions de ce genre.

Il en est résulté des différences notables dans la construction de ces deux tronçons, aussi les avons-nous étudiés séparément au point de vue des dépenses de premier établissement.

Tracé. — Ces deux lignes traversant un pays accidenté et devant être construites économiquement, leur tracé et leur profil sont assez tourmentés, tout en présentant des différences sensibles de l'une à l'autre. Ainsi sur la section de Vitré à Fougères, il n'y a par rapport à la longueur totale que 53,5 pour 100 d'alignements et la proportion des courbes de 300 mètres de rayon, atteint 24 pour 100.

En profil il y a seulement 43 pour 100 de paliers et 31 pour 100 de pentes ou rampes de 15 millimètres.

Sur la deuxième partie de Fougères à Moidrey, le tracé n'est pas moins accidenté, mais la proportion des fortes pentes et des courbes de faibles rayons est moins grande. Il n'y a encore que 58,7 pour 100 d'alignements droits, mais par contre on ne trouve que 10,8 pour 100 de courbes de 300 mètres de rayon.

Le profil présente, il est vrai, moins de paliers, 38,2 pour 100 de la longueur totale, mais il n'y a cependant que 19,7 pour 100 de pentes ou rampes de 15 millimètres.

Ces quelques chiffres montrent suffisamment à quelles conditions le tracé de ces deux sections a été assujetti.

DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT.

Ces dépenses ont été classées et réparties dans l'ordre suivant :

Frais généraux, infrastructure, superstructure, matériel d'exploitation, frais accessoires.

Frais généraux. — Ces dépenses comprenant (Études préliminaires, frais généraux de direction et de personnel, frais divers, etc., etc.), se sont élevées :

Pour Vitré-Fougères, à. . . .	6051 fr. 34	par kilomètre de ligne.
Pour Fougères-Moidrey, à.. .	6557 fr. 86	id.

Ces prix relativement très bas sont dus surtout à la rapidité avec laquelle ces deux lignes ont été construites. Celle de Vitré-Fougères a été mise en exploitation moins de deux ans et demi après la déclaration d'utilité publique; et Fougères-Moidrey a été construite en moins de quatre ans, malgré une année à peu près perdue par suite de la guerre de 1870-1871.

Infrastructure. — Les dépenses d'infrastructure (terrains, terrassements, ouvrages d'art, maisons de garde, clôtures, passages à niveau), ont été :

Pour Vitré à Fougères de.	31,233 fr. 11	par kilomètre.
Pour Fougères à Moidrey de. . .	39,134 fr. 77	id.

Les terrains ont été acquis pour une seule voie sur la première section, et pour deux voies sur la deuxième section, aussi sur Vitré à Fougères l'entreprise moyenne de voie courante, gares non comprises, n'a-t-elle été que $9^{mq},40$ par mètre courant, tandis qu'elle a été de $13^{m},64$ sur Fougères à Moidrey. Les terrains ont été payés, en moyenne, 7400 fr. l'hectare sur la première partie et 6890 fr. sur la deuxième.

Sur Vitré-Fougères, il n'y a que $7^{mc},153$ de terrassements par mètre courant de ligne, gares comprises, et ce cube a été de $9^{mc},96$ sur Fougères à Moidrey.

Quoique le tracé suive autant que possible toutes les ondulations du terrain, on n'a pu éviter quelques grands travaux d'art, tels qu'un viaduc de 115 mètres de longueur et de 18 mètres de hauteur sur Vitré à Fougères, et deux tunnels l'un de 281 mètres et l'autre de 80 mètres sur Fougères à Moidrey :

Sur Vitré à Fougères on a dû établir 71 ponts ou aqueducs variant de 15 mètres à $0^{m},60$ d'ouverture.

Sur Fougères-Moidrey on a dû établir 84 ponts ou aqueducs variant de 15 mètres à $0^{m},60$.

Il y a un grand nombre de passages à niveau publics et privés et les clôtures ont été faites en grande partie par les riverains. Mais ce mode d'opérer, très économique comme construction, présente de graves inconvénients, au point de vue de l'exploitation.

Ces quelques chiffres montrent qu'en fait ces deux lignes ont été établies dans des conditions, que l'on peut très bien considérer comme représentant la moyenne des difficultés que l'on rencontrera dans l'établissement du réseau complémentaire de nos voies ferrées.

Superstructure. — Les dépenses de superstructure comprenant : voie, ballastage, accessoires de la voie, bâtiments des gares et stations, alimentation des machines, remises et ateliers, matériel fixe des gares, ont été :

Sur Vitré-Fougères de.	35,937 fr. 51	par kilomètre.
Sur Fougères-Moidrey de. . . .	41,583 fr. 21	id.

Sur la première de ces sections la voie est en rails Vignole en fer de

30 kilogr., elle est revenue, non compris le ballast, à 23 fr. 20 le mètre courant.

Sur la deuxième section, les rails sont également du type Vignole en fer, mais de 35 kilogr., et la voie a coûté 28 fr. 24 le mètre courant.

L'espacement moyen des gares ou garages est de 9250 mètres sur Vitré à Fougères, et de 6285^m,70 sur la section de Fougères à Moidrey.

Les installations de gares sont très simples, trop simples même dans certains cas, mais en fait elles suffisent au trafic. La proportion des voies d'évitement et de déchargement par rapport à la longueur totale de voie courante, n'est que de 11,5 pour 100 sur Vitré à Fougères, et 11 pour 100 sur Fougères à Moidrey.

Les prises d'eau d'alimentation sont au nombre de cinq sur la ligne entière. Il y a des remises à voitures à Moidrey et à Fougères.

L'atelier de réparations et le magasin général sont à Fougères.

Le dépôt central des machines est à Fougères, et il y a un petit dépôt pour deux machines à chacune des extrémités de la ligne, à Vitré et à Moidrey, avec dortoir pour les mécaniciens.

Matériel d'exploitation. — Le matériel d'exploitation se compose, pour la ligne entière, de 6 locomotives-tenders, 21 voitures à voyageurs, 10 fourgons à bagages et 125 wagons à marchandises de toutes espèces.

Il comprend, de plus, l'outillage complet d'un atelier de réparations, les approvisionnements divers en pièces de rechange. le matériel et mobilier des gares et stations le matériel de la télégraphie, et enfin le petit matériel des agents de la voie.

Pour la ligne entière, il a coûté 11,561 fr. 43 par kilomètre.

Sur la section de Vitré à Fougères, ce matériel était des plus restreints, il n'avait coûté que 6,445 fr. 31 par kilomètre; sur l'autre section, il a été plus important, 15,863 fr. 30 par kilomètre, et a complété dans une certaine mesure le matériel roulant de la première section.

Frais accessoires de construction. — Sous ce titre nous avons compris : les frais d'escompte des subventions, les intérêts des capitaux engagés, pendant la construction, les pertes sur l'exploitation provisoire.

Ces frais ont été, pour la section de Vitré à Fougères, de 10,029 fr. 51 par kilomètre.

Et de 25,072 fr. 10 par kilomètre pour celle de Fougères à Moidrey.

Cette différence assez notable tient à ce que, pour Fougères à Moidrey, la subvention a été beaucoup plus forte et que de plus, l'escompte de cette subvention ayant dû être fait au moment de la guerre de 1870-1871, le taux en a été beaucoup plus onéreux.

Le prix de revient kilométrique de cette section, étant du reste plus élevé et la construction en ayant été moins rapide que celle de Vitré à Fougères, les intérêts des capitaux ont été par suite un peu plus forts.

Nous croyons, du reste, devoir appeler l'attention sur ces chiffres relati-

vement très bas, comparativement à ceux qui sont cités pour la plupart des lignes similaires, ces résultats étant dûs à la rapidité avec laquelle ont été conduits les travaux, à la réduction à son minimum de la période d'exploitation provisoire, et à l'absence de toute spéculation financière.

En résumé ces deux sections, tous frais compris, ont coûté :

Celle de Vitré à Fougères . . . . 89,696 fr. 78 par kil.
Celle de Fougères à Moidrey. 128,211 74

Or, en se plaçant au point de vue de la construction du réseau complémentaire, qui doit être construit aux frais de l'État en tant qu'infra et superstructure, les chiffres de dépenses de premier établissement devront être diminués du prix de revient du matériel d'exploitation et de la part de frais généraux qui y a trait, ainsi que des frais accessoires pour escomptes de subvention et exploitation provisoire.

Dans ce cas les dépenses pour les deux sections se trouvent réduites à 72,695 fr. 49 pour la section de Vitré à Fougères et à 86,200 fr. 35 pour celle de Fougères à Moidrey. On est loin, on le voit, des chiffres de 150 et 200,000 fr. par kilom. que l'on déclare nécessaires pour construire l'infra et la superstructure des lignes restant à construire.

Les deux lignes que nous venons d'étudier ne peuvent pas certainement être considérées comme des modèles, mais en somme elles fonctionnent depuis plus de dix ans et en dépensant quelques milliers de francs de plus par kilomètre, on eût pu en faire des lignes très complètes.

Mais il faut bien le dire ces résultats si économiques, dus entièrement à l'initiative privée, pourront croyons-nous être difficilement atteints par l'État agissant directement comme constructeur.

IIe PARTIE. — EXPLOITATION.

Dans cette deuxième partie, pour laquelle nous n'entrerons dans aucun détail, nous avons classé les renseignements statistiques de plusieurs années, afin de bien montrer que les résultats obtenus ne sont pas accidentels et qu'ils l'ont été en service courant sans que la régularité du service ait eu à en souffrir.

Nous avons étudié chaque service séparément afin de faire mieux ressortir l'organisation générale de l'Exploitation.

Des tableaux donnent enfin des renseignements sur les principaux éléments du trafic et des recettes.

Quelques parties du service d'Exploitation ont été traitées avec plus de détails à cause de leur importance dans une exploitation aussi économique. C'est ainsi que nous avons été amenés à nous étendre un peu plus longuement sur l'usure des bandages des locomotives et sur la consommation des

combustibles, ainsi que sur les difficultés d'entretien de la voie Vignole dans les courbes de faibles rayons situées en pentes ou rampes.

Comme il nous est impossible de donner ici des tableaux complets nous nous bornerons à dire que dans les quatre dernières années 1874 à 1877, les frais d'exploitation ont varié dans les limites suivantes :

Administration centrale et frais généraux . . .	551f,66	à	692f,10
Mouvement, trafic, service des gares	1063f,47	à	1127f,15
Matériel roulant et traction	1245f,57	à	1307f,86
Voie et matériel fixe	693f,87	à	835f,05

Les dépenses totales d'exploitation proprement dites ayant varié de 3,645 fr. 58 à 3,909 fr. 22 par kilomètre de ligne et de 1f,607 à 1f,707 par kilomètre de train.

A ces dépenses d'exploitation il y a lieu pour avoir les dépenses totales d'ajouter 120 fr. par kilomètre pour les frais de contrôle de l'État, plus les impôts divers, patentes, assurances qui ont varié de 111 fr. 52 à 120 fr. 83 par kilomètre dans la même période, de sorte que les *dépenses totales* de la Compagnie ont varié en résumé de 3,886 fr. 41 à 4,142 fr. 24 par kilomètre de ligne et de 1f,713 à 1f,808 par kilomètre de train.

Dans cette même période les recettes nettes du trafic ont varié de 5,392 fr. 10 à 6,514 fr. 55 par kilomètre et le rapport des dépenses d'exploitation proprement dite aux recettes du trafic qui était de 69,68 pour 100 en 1874 est tombé à 60,01 pour 100 en 1877.

Ces dépenses s'appliquent à une ligne faisant environ 7,500 fr. de recettes brutes par kilomètre et exploitée avec trois trains mixtes par jour dans chaque sens marchant à la vitesse moyenne de trente kilomètres, arrêts et pertes de temps déduits; les dépenses de renouvellement de voie en grand, n'étant pas bien entendu compris dans ces chiffres.

Nous pensons donc pouvoir dire comme conclusions, que si à ce chiffre de 4,000 à 4,500 fr. par an et par kilomètre, on ajoute une annuité d'environ 1,000 fr. pour frais de renouvellement en grand des voies, le total de 5,000 à 5,500 fr. auquel on arrive peut être pris comme base d'une exploitation économique pendant 25 à 30 ans, d'une ligne faisant de 6 à 8,000 fr. de recettes brutes par kilomètre et exploitée avec trois trains par jour dans chaque sens.

Si maintenant, se plaçant dans l'hypothèse d'une société d'exploitation on veut tenir compte de l'intérêt de l'amortissement du capital représentant le matériel d'exploitation, qui peut être évalué à 15 à 16,000 fr. par kilomètre, et cela pendant une période de 25 à 50 ans, à ce chiffre de 5,000 à 5,500 fr. on devra ajouter une annuité de 900 à 1,000 fr. pour ce service de capitaux.

En terminant nous croyons donc pouvoir conclure que l'on peut arriver à établir l'infra et la superstructure des lignes restant à construire, dans de très bonnes conditions (plus que suffisantes pour le trafic qu'elles auront à

desservir), pour moins de 150 et 200,000 fr. le kilomètre et faire ensuite exploiter ces lignes sur le prix de base de 6,000 à 6,500 fr. par an et par kilomètre pour des trafics variant de 7 à 8,000 fr. de recettes par kilomètre.

Mais il nous paraît indispensable, pour que l'on puisse arriver à ces résultats qu'il soit fait appel à l'initiative privée et que ce soit les Compagnies ayant construit ces lignes pour le compte de l'État, qui soient chargées de les exploiter, au moins pendant une première période de 25 à 30 ans, ce qui sera en fait, la meilleure garantie de bonne et sage exécution tant au point de vue des travaux que du bon agencement de tout le matériel fixe d'exploitation.

M. Richard pense qu'il est utile d'appeler l'attention du législateur, sur la proportion vraiment anormale et injuste qui existe, entre les impôts de toute nature payés sur les petites lignes et leurs recettes.

Il explique que cela tient surtout à ce que le droit d'enregistrement applicable aux expéditions est fixe, quelle que soit la valeur, et quel que soit le parcours, et ne dépend nullement de la distance que la marchandise doit parcourir sur le même réseau. — De là, des prix de transport qui, pour de petits parcours, éloignent la marchandise et permettent toutes concurrences.

Il y a là une charge d'autant plus lourde pour les petites Compagnies, que le nombre de kilomètres qu'elles desservent est plus petit et qui leur crée, par des pertes quotidiennes et notables, une situation souvent désastreuse qu'il serait équitable de leur épargner.

M. le Président remercie M. Dornès de son intéressante communication.

M. Javal donne communication de l'analyse qu'il a faite de l'ouvrage de M. Émile Vuillemin, ingénieur-administrateur de la Compagnie des mines d'Aniches, intitulée : Les *Mines de houille d'Aniches, exemple des progrès réalisés dans les houillères du Nord de la France pendant un siècle.*

M. le Président remercie M. Javal de cette intéressante analyse qui sera insérée *in extenso* dans le Bulletin de la Société.

MM. Biver, Fillon, Girardin, Montandon et Philippon ont été reçus Membres sociétaires.

Séance du 21 Février 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 février est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Taillard vient d'être promu au grade d'Officier dans l'Ordre de la Légion d'honneur; M. Regnard, secrétaire de la Société, a été nommé Officier d'Académie, à l'occasion des Conférences faites aux ouvriers délégués à l'Exposition universelle de 1878.

M. ASSELIN donne communication de la description d'un nouveau *Mode d'Épuration préalable des Eaux industrielles*, c'est-à-dire, des Eaux destinées à l'alimentation des Générateurs, aux bains de teinture, aux lavages des laines, soies, peaux, etc...

Il lui paraît superflu d'insister sur l'importance de la question, et de relater les procédés d'épuration préalable, actuellement en vigueur, qui, tous, ont pour résultat de diminuer la mauvaise qualité des eaux, d'abaisser leur degré hydrotimétrique, mais qui, tous aussi, sont très imparfaits, et ne peuvent s'appliquer indistinctement à toutes les eaux calcaires.

Il aborde de suite, la description du nouveau mode d'épuration, qui consiste dans l'emploi de l'*Acide oxalique*, ou, plus justement, *des Oxalates alcalins.*

On connaît l'efficacité de l'action de l'acide oxalique sur les sels calcaires contenus en dissolution dans les eaux; on connaît les Méthodes de dosage et de séparation de la chaux usitées en chimie analytique quantitative; on a donc la garantie de l'efficacité absolue de l'agent proposé.

Tout en reconnaissant cette perfection d'action, la pratique ne la met point en œuvre, par le seul motif du prix élevé de l'Acide oxalique, partant, des oxalates.

La méthode absolument nouvelle que M. Asselin décrit, consiste à utiliser les propriétés de l'Acide oxalique, et ce, avec une dépense faible, parce qu'elle est basée sur la transformation de l'oxalate de chaux, produit immédiat de l'Épuration des Eaux calcaires, en oxalate alcalin.

Le problème est donc celui-ci :

Étant donné, une première fois, une certaine quantité d'Acide oxalique, ou d'oxalate alcalin, on épurera une certaine quantité d'eau, on produira

une quantité correspondante d'Oxalate de chaux, qui sera traitée comme suit, pour régénérer sur place de l'oxalate alcalin, apte à épurer de nouvelles quantité d'eau.

Tel est le cycle des réactions, tel est le principe de la méthode. Nous allons examiner successivement :

α. Les détails d'exécution.

β. Le prix de revient de la transformation de l'Oxalate de chaux.

γ. Le coût de l'Épuration d'un mètre cube d'eau.

α. — *Détails d'exécution.* — La matière première est l'oxalate de chaux, celui qui provient, soit des bassins de décantation, soit des filtres.

Il sera soumis à la température de l'ébullition, et, pendant un temps déterminé, à l'action des carbonates alcalins, à l'action du carbonate de soude, par exemple.

Dans ces circonstances, une double décomposition s'effectue ; il se forme du carbonate de chaux insoluble, et de l'oxalate de soude soluble ; ce dernier est le réactif destiné à l'Épuration des Eaux.

Cette réaction très simple est exprimée par l'équation.

$$CaO, C^2O^3 + NaO, CO^2 = NaO, C^2O^3 + CaO\ CO^2$$

Cette formule indique en même temps que le sens de la réaction, les quantités de carbonate de soude que l'on doit employer pour la décomposition complète de l'oxalate de chaux.

CaO, C^2O^3		NaO, CO^2		NaO, C^2O^3		CaO, CO^2
Ca = 20		Na = 23		Na = 23		Ca = 20
O = 8		O = 8		O = 8		O = 8
C^2 = 12		C = 6		C^2 = 12		C = 6
O^3 = 24		O^2 = 16		O^3 = 24		O^2 = 16
64	+	53	=	67	+	50
117				117		

Sachant qu'un excès de carbonate de soude n'a aucun effet nuisible, tout au contraire, nous dirons qu'il faut, pour la réaction en question, un poids de carbonate de soude, égal à celui de l'oxalate de chaux qu'il s'agit de décomposer.

Ce que la théorie prévoit, ce qu'indique cette formule, l'expérience le *réalise ;* M. Asselin affirme que cette réalisation sera *nette* et *précise*, sous *l'observance* des conditions suivantes :

Dans une chaudière en fonte, ou en fer (nous avons affaire à des matières neutres et alcalines) d'une contenance de 600 à 1000 litres, on introduit une quantité déterminée, soit, 100 kilog. d'oxalate de chaux en pâte, égoutté, (cet état, on le comprend, est en relation connue avec l'oxalate sec

de la formule précitée) ; on fait bouillir avec une quantité de carbonate de soude égale à la moitié de celle totale que l'on a déterminée, dans l'équation précédente, pour la réaction complète. Au bout d'un quart d'heure, tout le carbonate de soude est entré en réaction. On peut en avoir la certitude en filtrant quelques centimètres cubes de la liqueur trouble; le liquide filtré ne fait pas effervescence avec les acides.

Après quelques instants de repos le liquide est décanté, puis entreposé dans un bac.

On passe alors, à la *seconde phase de la décomposition*, qui, consiste à ajouter sur le dépôt resté dans la chaudière, la seconde moitié du carbonate de soude, et, à faire bouillir de nouveau, une demi-heure; on constate la fin de la réaction par l'examen du précipité qui doit être du carbonate de chaux seul, et qui, comme tel, se dissoudra complètement, et, avec effervescence dans l'acide acétique.

La réaction est fort nette et laisserait parfaitement apercevoir l'existence des plus petites quantités d'oxalate de chaux non décomposées, qui troubleraient la liqueur.

Le liquide c'est-à-dire, l'oxalate de soude, sera entreposé avec celui obtenu dans la première phase d'opération; l'ensemble constitue le réactif de l'épuration de nouvelles quantités d'eau.

M. Asselin insiste d'une manière toute particulière sur la simplicité et la promptitude de cette transformation de l'oxalate de chaux. — C'est une opération essentiellement pratique. Naturellement, elle doit s'accomplir sur place, c'est-à-dire sur le lieu d'épuration des eaux; elle est en tous points *comparable*, en ce qui concerne les exigences du matériel et des manipulations à la méthode de l'emploi du lait de chaux, usité pour l'épuration préalable de *certaines eaux*.

β. *Prix de revient de la transformation de l'oxalate de chaux.* — M. Asselin. — J'arrive maintenant à l'établissement du prix de revient de la transformation de l'oxalate de chaux.

Soit, 100 kilog. d'oxalate de chaux à transformer, et, admettons l'emploi de 100 kilog. de carbonate de soude, nous prendrons ce sel de soude sous la forme très avantageuse qui nous est actuellement donnée par les procédés dits : *Fabrication de la soude par l'ammoniaque.* — Sous cette forme, 100 kilog. de carbonate de soude pur, celui de notre formule, nous coûteront, rendus sur les lieux d'épuration 24 fr. °/₀.

Nous devons supposer dans ces opérations de transformation, une perte, qu'il est certainement facile de rendre bien peu sensible par une décantation soignée, mais que, pour la rigueur de la description actuelle, nous exagérerons et que nous considérerons comme représentant 5 °/₀ d'acide oxalique cristallisé.

Le prix commercial de l'acide oxalique est actuellement de 120 fr. °/₀, il

vient, de ce chef, une dépense de 6 francs. — Soit donc une somme totale de 30 fr. pour les réactifs nécessaires à la transformation de 100 kilog. d'oxalate de chaux.

γ. Coût de l'épuration d'un mètre cube d'eau. — Ceci posé, et, pour donner une entière signification à cette dépense de 30 fr., M. Asselin se demande quelle est la quantité de mètres cubes d'eau que l'on pourra épurer, avec ces 100 kilog. d'oxalate de chaux, ou plus exactement avec les 100 kilog. d'oxalate de soude qui en proviennent.

Supposons qu'il s'agisse de faire descendre de 20°, la valeur hydrotimétrique d'une eau donnée, le chiffre correspond, on le sait, à 0°, 20 centigrammes de sels terreux par litre; soit 200 grammes par mètre^3; 1 kilog. par mètre^3 ou 100 kilog. par 500 mètres^3.

Comme cette dépense de 30 fr. est relative à l'épuration de 500 mètres^3, on arrive au chiffre de 6 centimes pour l'épuration de 1 mètre^3 et pour 20° hydrotimétriques.

Ce prix est très modique, il ne tient compte que des réactifs employés ;

La main-d'œuvre et le matériel constituent des éléments de dépense à établir pour chaque cas particulier, très variable selon l'importance du nombre de mètres cubes à épurer.

M. Asselin ajoute que, dans certains cas, et, pour raison d'économie, on pourra d'abord faire descendre d'un certain nombre de degrés, la valeur hydrotimétrique d'une eau donnée, par l'emploi connu et usité en quelques circonstances, du lait de chaux; puis, quand cette action sera épuisée, on devra avoir recours au procédé d'épuration qui vient d'être décrit; en d'autres termes, il fait remarquer qu'il y a compatibilité entre *l'emploi de la chaux*, quand il y a lieu de l'appliquer, et l'épuration *par les oxalates alcalins*.

M. Asselin termine cet exposé en répétant que l'emploi des oxalates alcalins constitue une méthode nouvelle qui se distingue nettement de tout ce qui a été tenté et appliqué jusqu'à ce jour; — des tentatives ont été faites, pour la décomposition des oxalates de chaux, et, à l'aide de l'acide sulfurique, et, à l'aide de l'acide chlorydrique. — Avec le premier les réactions inverses ont pris naissance; avec le second on a eu la formation de sels doubles. — Enfin, il jaoute que cette méthode atteint une perfection incontestable d'élimination des sels de chaux, et, que, selon ses prévisions, elle doit être le point de départ, pour beaucoup de manufacturiers, pour plusieurs Compagnies de chemins de fer, de l'installation du matériel nécessaire à l'épuration des eaux destinées aux usages industriels.

M. le Président demande à M. Asselin si la durée de l'épuration par les oxalates alcalins est moindre que celle de l'épuration par la chaux.

M. Asselin répond que la précipitation a lieu, tout d'abord, avec une lenteur; vingt-quatre heures environ sont nécessaires. L'action moléculaire

du précipité existant accélère la formation ultérieure d'un nouveau précipité.

M. le Président demande quelles dimensions de réservoirs sont nécessaires pour le traitement d'une quantité d'eau déterminée.

M. Asselin répond que ces dimensions peuvent varier dans des limites très étendues, suivant qu'on filtre ou qu'on décante l'eau traitée par les oxalates.

M. Gottschalk dit qu'il a eu occasion d'employer des eaux très calcaires et magnésiennes, et qu'il a interposé l'appareil d'épuration entre la pompe et le réservoir, avec d'excellents résultats suivant la méthode de MM. Bérenger et Stingl.

M. Mathieu demande si le procédé qui vient d'être décrit est appliqué en grand, ou s'il n'a été employé que dans le laboratoire?

M. Asselin répond que ce procédé est trop récent pour avoir pu donner lieu à de nombreuses applications industrielles. Il est employé cependant déjà dans le département de l'Aisne.

M. Gottschalk fait remarquer que le procédé à la chaux est très économique.

M. Asselin objecte que ce procédé ne donne aucun résultat avec certaines eaux. Son action est nulle, par exemple, sur les eaux calcaires sulfatées; elle n'est d'ailleurs jamais complète, même sur les eaux carbonatées.

M. le Président remercie M. Asselin de son intéressante communication, et donne la parole à M. Gottschalk.

M. Gottschalk dépose sur le Bureau le rapport de la Commission chargée de l'étude des locomotives à l'Exposition Universelle de 1878. Il fait observer que ce n'est pas une communication qu'il fait aujourd'hui, mais un simple résumé.

Je revenais à peine d'Autriche, dit-il, au début de l'Exposition que le bureau de la Société me conférait l'honneur de présider la commission chargée de réunir et de classer les renseignements relatifs aux machines locomotives exposées dans la classe 64 du groupe VI.

Cette Commission comprenait les membres suivants :

MM. Gottschalk, *président;* Douau, *secrétaire;* Banderali, Chapman, Chobrzynski, Deghilage, Desgrange, de Fonbonne, Guébhard, Lecocq, Mallet (Anatole), Morandiere (Jules), Parent (Louis) et Vallot.

Son but, et particulièrement celui de son Président, furent tout d'abord de réunir tous les documents et d'appeler, autant que possible, aux séances où chacun de ces documents était examiné et discuté, les exposants ou leurs représentants, pour obtenir directement tous les renseignements complémentaires nécessaires pour bien éclairer la commission.

La plupart des exposants se sont empressés de répondre à notre appel et notre devoir est de leur adresser ici nos remerciements. Dix-huit séances

furent tenues sous ma présidence, sans compter les visites faites en commun à l'Exposition même, après quoi, la Commission se reconnaissant suffisamment éclairée, désigna une sous-commission composée du président, du secrétaire et de MM. Deghilage et Jules Morandière pour discuter et préparer la forme définitive à donner au rapport dont la rédaction avait, conformément aux précédents, été exclusivement confiée à son secrétaire M. Douau.

C'est ce rapport, revu une dernière fois par la Commission tout entière, que M. Gottschalk dépose en l'accompagnant de tous les documents, plans, dessins, autographies et photographies qui ont été rassemblés par la Commission et qui forment un des dossiers les plus complets que la Société possède sur la matière.

La classe 64 comprenait 57 locomotives et véhicules automobiles, à savoir :

16 Locomotives pour trains de voyageurs dont 8 exposées par la France et 8 par l'étranger;

16 Locomotives ou voiture à vapeur pour trains de marchandises et services spéciaux dont 7 exposées par la France et 9 par l'étranger.

14 Locomotives pour chemins secondaires, industriels ou agricoles à voie étroite dont 9 exposées par la France et 5 par l'étranger.

10 Locomotives et voiture automobile pour tramways et 1 locomotive routière dont 7 exposées par la France et 4 par l'étranger.

La Commission a cru devoir conserver la classification ci-dessus qui avait été adoptée par le Comité d'installation de l'Exposition universelle. Elle a dressé en conséquence quatre tableaux indiquant les dimensions et conditions spéciales d'établissement de ces diverses machines ou véhicules, en cherchant à rapprocher autant que possible les machines similaires de façon à faciliter les comparaisons.

C'est la classification adoptée dans ces tableaux qui a servi de point de départ au programme du mémoire de M. Douau.

Ce mémoire donne tout d'abord la description des machines comparables, fait suivre cette description plus ou moins sommaire d'une discussion comparative des principaux organes et dimensions des locomotives à voyageurs et à marchandises des grandes lignes, puis reprend la description des machines pour services spéciaux, des locomotives pour chemins secondaires à voie étroite et des locomotives pour tramways; enfin il passe en revue les véhicules automobiles, les freins, appareils, etc., qui par leur destination rentrent dans la section des locomotives.

Tel est, en quelques mots, le plan du mémoire de M. Douau.

L'étendue de ce mémoire rendrait sans doute sa lecture en séance un peu difficile et la Commission a pensé que le mieux serait de le faire imprimer et distribuer le plus tôt possible, avant de provoquer une discussion sur l'ensemble de ce travail.

En attendant, quelques membres de la Commission et notamment de la

Sous-Commission ont bien voulu s'engager à faire à la Société des communications restreintes par groupes de machines. Ainsi, M. Deghilage a bien voulu nous promettre une communication sur les machines à grande vitesse puis une autre sur les machines-tenders; M. Morandière a bien voulu se charger d'une communication analogue sur les machines pour services spéciaux et sur celles pour tramways et M. Mallet d'une communication sur les machines à marchandises et celles pour chemins secondaires à petite voie.

Ces communications partielles présenteront l'avantage de pouvoir être réparties en plusieurs séances et de pouvoir être suivies de discussions immédiates, d'autant plus intéressantes et plus faciles à suivre.

Abandonnant au mémoire de notre Secrétaire le soin de décrire et d'analyser les progrès incessants réalisés dans les détails de construction des machines et notamment dans les appareils de combustion, de vaporisation, d'alimentation et de distribution, M. Gottschalk cherche à résumer ici, à grands traits, les faits saillants de l'Exposition et à en tirer, autant que possible, quelques indications générales sur les dispositions d'ensemble des locomotives.

Aucune découverte importante n'est venue modifier la construction des locomotives depuis les deux Expositions de 1867 et de 1873. Nous devons cependant signaler à l'attention générale l'application du système Compound aux locomotives dont M. Mallet a exposé un spécimen très intéressant.

A en augurer par les progrès réalisés dans la construction des machines de bateaux depuis l'Exposition de 1867, où figurait pour la première fois l'application à ces machines du système Compound, on peut espérer que l'application de M. Mallet sera pour l'avenir une source de progrès féconds en résultats.

Comme observation générale, nous dirons également que l'Exposition de 1878 a permis de constater des progrès réels sur ses devancières au point de vue de la substitution de l'acier au fer, dans la construction des locomotives. Il n'y a d'exception que pour les chaudières que la plupart des grandes Compagnies continuent à fabriquer de préférence en tôle de fer.

Nous devons cependant signaler les beaux échantillons de chaudières en tôle d'acier exposés d'une part, par le Creusot et de l'autre, par la Compagnie du Nord autrichien qui possède déjà plus de 200 chaudières en acier et n'en construit plus d'autres depuis 1871. Nous-mêmes pouvons citer l'emploi de 10 chaudières en tôle d'acier qui fonctionnent, d'une manière satisfaisante, au Brenner depuis bientôt 12 ans; nous savons de plus que les chemins français, possèdent à titre d'essai une centaine de locomotives en tôle d'acier; de même la grande Compagnie anglaise du « London and North Western » ne fait plus que des chaudières en acier dont elle fabrique elle-même les tôles à Crewe.

Nul doute que les procédés perfectionnés de fabrication de l'acier et les

nombreux essais de résistance qui se font dans ce moment par toute l'Europe dans le but d'arriver à une classification méthodique ne favorisent de plus en plus en plus la substitution de l'acier au fer dans la plupart des applications.

Après ces considérations générales nous passerons en revue chacun des groupes de machines exposées.

En 1867, les grandes Compagnies de chemins de fer semblaient s'appliquer à faire connaître les progrès réalisés dans la construction des machines à marchandises puissantes pour fortes rampes; en 1878, les mêmes Compagnies exposaient de préférence des machines à voyageurs : on remarquait en effet à l'Exposition, 16 machines à voyageurs contre 6 à marchandises et 9 pour services spéciaux dont plusieurs s'appliquent également pour trains de voyageurs.

Machines à voyageurs pour trains rapides et lourds. — Les six grandes Compagnies françaises exposaient en première ligne leurs nouveaux types de locomotives à quatre roues couplées pour trains de voyageurs rapides et lourds; l'Italie, voire même l'Angleterre qui presque seule aujourd'hui construit encore des machines à roues libres, exposaient également des machines à quatre roues couplées, témoignant de la sorte du besoin qui s'impose de plus en plus aujourd'hui aux grands réseaux d'accorder aux voyageurs de toutes classes le bénéfice de la grande vitesse.

A en juger par la diversité des types qui peuvent se ranger en quatre catégories, les Ingénieurs du matériel sont loin d'être d'accord sur les meilleures dispositions à adopter.

Nous laissons à la discussion le soin d'éclairer la question, en remarquant toutefois que quelques ingénieurs paraissent vouloir augmenter le diamètre des roues motrices, tandis que d'autres et les Ingénieurs étrangers notamment semblent, au contraire, vouloir revenir des trop grands diamètres primitifs. C'est aussi la première fois que nous voyons une Compagnie française (le Nord) entrer dans la voie des machines avec truck d'avant à l'Américaine.

Une chose est positive, c'est que la machine à voyageurs à roues libres qui tendait déjà à disparaître en 1867 ne figurait plus à l'Exposition de 1878.

Toutes ces machines pour trains lourds et rapides possèdent des tenders de grande capacité dont quelques-uns contiennent jusqu'à 10^{m3} d'eau dans le but de réduire autant que possible les arrêts en route pour l'alimentation.

Machines pour trains de voyageurs ordinaires. — Parmi les 8 machines ordinaires, dont une grande partie étaient des machines-tenders, nous signalerons :

1° L'excellent type des Dombes exposé par le Creusot, pour chemins secondaires;

2° Le type Fairlie qui figurait pour la première fois dans une Exposition universelle et que son auteur semble avoir cherché à simplifier en réduisant de 4 à 2 le nombre des cylindres;

3° Les types adoptés par le Grand-Central et l'État Belges de machines-tenders à deux ou trois essieux couplés compris entre deux essieux porteurs pouvant se déplacer; types très acceptables pour des parcours relativement faibles et dans le cas où l'on doit faire de nombreux arrêts et stationnements, sans s'astreindre à tourner la machine aux points extrêmes de la ligne, mais qui paraissent moins applicables pour de longs parcours ou pour des lignes à rayons de courbure relativement faibles, voire même pour des lignes à grands alignements droits dont l'entretien laisserait à désirer;

4° Le type des machines très puissantes, à six roues couplées du Sud de l'Autriche, pour trains de voyageurs pouvant aller jusqu'à 150 tonnes sur rampes de 25 millimètres et également applicables aux trains de marchandises dans les sections à petites déclivités;

5° Enfin le type à six roues couplées de l'État Hongrois qui se distingue par l'application, non encore expérimentée de tiroirs cylindriques équilibrés placés sous les cylindres et dont la disposition d'ensemble peut être considérée comme le type des machines de l'avenir pour les trains de voyageurs ordinaires très chargés.

Machines à marchandises. — Les machines à marchandises étaient représentées par trois machines à six roues et trois à huit roues couplées parmi lesquelles nous avons à signaler :

1° L'ancien type dit du Bourbonnais adopté et perfectionné par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée et qui, suivant nous, est un des meilleurs types connus pour machines à marchandises à six roues couplées à preuve que la Compagnie de Lyon en possède plus de neuf cents exemplaires;

2° La machine américaine à six roues couplées et bogie d'avant qui mérite au point de vue de sa boîte à feu pour anthracite une mention spéciale;

3° Les belles machines à huit roues couplées des Compagnies de Paris-Lyon-Méditerranée, d'Orléans et de Cockerill pour l'Espagne qui ne sont que des types anciens perfectionnés dans les détails et rendus encore plus puissants qu'autrefois.

Il est à noter que, contrairement à ce qui se passait en 1867, l'Exposition de 1878 ne présentait aucune machine ayant plus de huit roues couplées comme si les Compagnies s'étaient donné le mot pour reconnaître que, passée cette limite de puissance, il était préférable de dédoubler les trains ou bien d'employer deux machines dont l'une en tête, l'autre en queue dans les sections les plus difficiles.

Machines pour services spéciaux. — Les machines pour services spéciaux, toutes machines-tenders, comprenaient quatre machines à quatre roues et cinq à six roues couplées, parmi lesquelles il y a lieu de signaler :

1° La machine de la Société de construction de Passy, uniquement à cause de l'application intéressante faite par M. Mallet du système Compound;

2° La machine de la Société de construction de Winterthur remarquable par une distribution nouvelle, sans excentrique ni coulisse, du système Brown et une appropriation du balancier que nous avons déjà vu figurer à l'Exposition de Vienne sur une machine de M. Belpaire, dispositions qui permettent de remonter les cylindres et de laisser les distributions extérieures, même avec des roues de petits diamètres, sans s'exposer à dépasser les limites du gabarit et en mettant, autant que possible, le mécanisme à l'abri de la poussière et de la boue;

3° La machine du type Riggenbach perfectionnée pouvant également bien fonctionner par adhérence sur voie à faibles déclivités et au moyen d'un pignon en acier engrenant une voie à crémaillère sur des rampes variables de 50 à 270 millimètres par mètre. C'est la première fois qu'une machine de ce système figurait dans une exposition universelle. Nous n'hésitons pas à dire qu'après expérience faite en Suisse, comme en Autriche-Hongrie, les machines du système Riggenbach sont les seules qui offrent toute sécurité à la descente sur des chemins à rampes dépassant 50 millimètres bien que le chemin de l'Utliberg exploite avec des machines ordinaires à adhérence des rampes de 70 millimètres, en empruntant il est vrai aux machines Riggenbach leur puissant frein à air;

4° La petite locomotive treuil du chemin de fer du Nord pour manutention dans les gares.

Il n'y a pas de conclusion à tirer au point de vue de la disposition d'ensemble des machines pour services spéciaux, chaque machine devant satisfaire à des conditions toutes particulières et bien différentes suivant les cas.

Voiture à vapeur, système Belpaire. — A la suite de ces machines, nous avons inscrit dans notre deuxième tableau, la voiture à vapeur de M. Belpaire, que son auteur, toujours à la tête du progrès, a fait revivre de ses cendres en la rendant pratique et applicable au début de l'exploitation d'une foule de lignes secondaires.

Comme il était facile de le voir, le point caractéristique de l'Exposition de 1878 était la présentation des machines et véhicules pour trains de voyageurs et notamment de ceux destinés aux trains lourds devant marcher à plus de 65 kilomètres à l'heure, vitesse limite des express d'autrefois.

L'avenir seul pourra décider si les avantages de la grande vitesse, compensent les inconvénients qui en résultent au point de vue de la sécurité, de l'économie du combustible et de l'usure du matériel et de la voie. Toujours est-il qu'une fois lancées sur cette pente les compagnies ont dû approprier, autant que possible, leur matériel aux nouvelles conditions de vitesse et de charge en augmentant l'empâtement de leurs machines, plaçant le dernier essieu sous ou derrière la boîte à feu, augmentant à la fois la puissance et

l'adhérence de leurs locomotives nouvelles ou reconstruites, cherchant enfin à les mieux attacher à leurs tenders pour éviter, autant que possible, le mouvement de lacet qui sans cela devient sensible dans les machines ayant de grandes boîtes à feu en porte-à-faux quand on dépasse les vitesses de 60 kilomètres à l'heure. Aussi voyons-nous ces préoccupations se traduire par des dispositions spéciales dans les nouveaux types exposés.

Attelages. — En ce qui concerne les attelages notamment, nous citerons : l'attelage perfectionné de la Compagnie de l'Ouest, l'attelage triangulaire de Rotter, ingénieur du Nord autrichien et enfin la disposition plus perfectionnée encore de M. Térisse, ingénieur français, au service de la grande société des chemins de fer Russes.

Freins continus. — Les grandes compagnies de chemins de fer et les compagnies Anglaises et Américaines à la tête ayant également reconnu qu'il ne suffisait pas pour aller vite d'un point à un autre d'avoir recours à des vitesses exagérées, mais qu'il fallait encore gagner du temps sur les ralentissements et les arrêts au passage et à l'arrivée des gares et stations, ont eu recours, dans ces dernières années, à l'application de freins puissants pouvant être manœuvrés de la machine et permettant, à un moment donné, au mécanicien de modérer la vitesse ou d'arrêter promptement devant un obstacle.

Aussi la plupart des machines exposées se trouvaient-elles munies de freins, sans compter que presque toutes présentaient la disposition Le Châtelier pour utiliser la contre-vapeur. L'exposition, répondant à un besoin du moment, accordait en outre une large place aux différents systèmes de freins continus tels que :

Le frein automatique de Westinghouse à air comprimé;

Le frein pneumatique d'origine française repris par Smith et perfectionné par Hardy;

Le frein électrique de M. Achard;

Le frein à chaîne perfectionné par MM. Héberlein et Becker.

La pratique, qui ne semble pas s'être suffisamment prononcée à cet égard, montrera quel est le système préférable dans chaque cas et lequel d'entre eux devra, dans un avenir plus ou moins prochain, être adopté d'une manière presque générale pour le matériel à voyageurs afin de faciliter l'échange des véhicules entre les différentes compagnies, voire même entre les États voisins.

Nous renverrons les Ingénieurs que cette question pourra spécialement intéresser aux communications très bien faites sur ce sujet par M. Banderali.

Locomotives pour voies secondaires, chemins industriels et agricoles à voie étroite. — Si nous passons maintenant aux locomotives pour voies secondaires, chemins industriels et agricoles à voie étroite, nous voyons que l'Exposition nous offrait quatorze exemplaires très différents les uns des

autres en général et peu comparables par conséquent, dont six pour voie d'un mètre et huit pour voie de moins d'un mètre de largeur.

Parmi les six premières et en mettant de côté la machine Larmenjat applicable dans certains cas très spéciaux, il y avait lieu de remarquer :

1° La machine à six roues couplées et essieu d'avant mobile du système Bissel très judicieusement étudiée et établie sur des dispositions Américaines par la Compagnie de Fives-Lille, pour le chemin de fer de Pernambuco au Brésil;

2° La machine à six roues de MM. Cail et Cie à laquelle se trouve appliquée la pompe Chiazzari;

3° Les machines des Sociétés de construction des Batignolles, de Passy et de Corpet et Bourdon, qui méritent toutes d'être signalées pour leurs dispositions pratiques et relativement peu compliquées.

Toutes ces locomotives sont très différentes l'une de l'autre et pour n'en donner qu'une idée, disons que la charge sur leurs essieux varie de 4 à 8 tonnes.

Parmi les locomotives pour voie au-dessous de 1 mètre de largeur, citons : la locomotive-grue du système Brown répondant d'une manière plus ou moins pratique à l'objection des transbordements; la locomotive Cail avec chaudière Field et un seul cylindre vertical, pour voie de 0m,600 celle de Couillet pour même voie et enfin la locomotive construite dans les ateliers de la Compagnie Autrichienne des chemins de fer de l'État pour ses mines et usines du Banat et qui se recommande par sa simplicité, qualité principale, suivant nous, de ces petites machines.

La grande diversité des types correspond aux conditions de chaque cas particulier et leur nombre fait voir le prix qui s'attache aujourd'hui dans toute l'Europe à relier les grandes lignes au centre de productions industrielles et agricoles, en cherchant à assurer une rémunération convenable aux capitaux qui s'engagent dans ces petits chemins.

Une chose à noter cependant, c'est que toutes ces machines ont de deux à trois essieux couplés et toutes sont faites pour circuler dans des chemins à faibles rayons de courbure.

Locomotives pour tramways. — Enfin l'Exposition universelle de 1878 est la première à laquelle nous voyons figurer autant de locomotives pour tramways; neuf machines dont cinq exposées par des constructeurs Français témoignent de l'intérêt qu'on attache partout à remplacer les moteurs animés par un système de traction moins onéreux.

Trois systèmes se disputent la palme : les locomotives à foyer, celles sans foyer du système Francq et celles à air comprimé du système Mékarski. Parmi les premières, celles des systèmes Harding et Brown paraissent les plus simples et les plus répandues en Europe. Les locomotives sans foyer si séduisantes à tant de points de vue et celles à air comprimé n'ont pas encore été suffisamment éprouvées par la pratique; on ne peut, pour le moment, qu'admirer leurs dispositions si judicieusement étudiées

par M. Mesnard, Ingénieur de la maison Cail d'une part, et par M. Mékarski, de l'autre, laissant au temps le soin de prononcer sur l'économie de ces appareils.

Wagon d'expériences du chemin de fer de l'Est. —Nous ne pouvons mieux terminer ce très court résumé qu'en citant le wagon d'expériences construit par la Compagnie de l'Est, pour étudier simultanément les efforts développés sur les barres d'attelage et le travail de la vapeur dans les cylindres de la machine en marche. On ne saurait pousser plus loin la précision des appareils de ce genre.

En dehors des locomotives, voitures automobiles, appareils de frein et autres, les Compagnies de chemins de fer et notamment les Compagnies étrangères ont exposé un grand nombre de plans et de collections de leurs types de matériel et de leurs cahiers des charges.

Nous avons pensé que ces documents pourraient intéresser la Société et nous avons pris soin de les collectionner pour ses archives.

Tel est en peu de mots le résumé qu'on peut faire de l'Exposition de 1878 au point de vue de la section des locomotives en laissant au rapport de M. Douau, aux communications partielles, et à la discussion le soin d'étudier les détails pour tâcher d'en tirer des conséquences pour l'avenir.

M. Gottschalk termine en remerciant les Membres de la Commission et tout particulièrement son Secrétaire du concours qu'il ont bien voulu lui prêter.

M. le Président donne la parole à M. Krémer pour sa communication sur les expériences faites par M. Verderber, inspecteur-général des chemins de fer Hongrois, sur des locomotives avec boîte à feu en matériaux réfractaires.

Les chemins de fer de l'État Hongrois ne disposent, pour l'alimentation d'eau de leurs chaudières de locomotives, sur la presque totalité de leurs parcours, que d'eaux calcaires qui produisent des dépôts considérables et très durs.

Une pareille alimentation occasionne aux boîtes à feu des accidents dont les réparations sont très coûteuses.

Ces réparations, si souvent répétées, ont pour conséquence d'immobiliser un grand nombre de machines et d'obliger l'État à avoir, pour un même service, un effectif de matériel de traction beaucoup plus considérable.

Cette situation a engagé M. Verderber à entreprendre des expériences pour faire disparaître ces inconvénients, ou au moins pour en atténuer les effets dans une certaine mesure.

Après avoir comparé les résultats de ses observations et de ses études à ceux obtenus par d'autres Ingénieurs qui ont fait des recherches dans le même but, il a acquis la conviction que les inconvénients dont la boîte à feu est le siège ne pouvaient disparaître qu'en la supprimant comme générateur de vapeur.

Il a, en conséquence, pris la résolution de chercher dans ce sens la solution du problème.

Les expériences qui ont été faites par la Compagnie des chemins de fer du Nord, en France, démontrent que la surface de chauffe de la boîte à feu produit, avec l'emploi modéré du souffleur, à peu près la moitié de la quantité totale de vapeur fournie par une chaudière ; on en a déduit que la surface de chauffe des tubes n'était pas capable, à elle seule, de produire toute la vapeur nécessaire au service que doit faire une locomotive.

Les expériences qu'a faites M. Verderber l'ont conduit à une autre conclusion.

Il attribue aux trois causes suivantes le faible rendement de la surface de chauffe des tubes, comparé à celui de la boîte à feu.

1° Les gaz provenant de la combustion ne passent que dans une partie des tubes à fumée.

2° La température des gaz diminue rapidement à mesure qu'ils s'éloignent de la boîte à feu.

3° La cause principale à laquelle il faut attribuer la faible production de vapeur par la surface de chauffe des tubes, c'est que près de 50 0/0 de la chaleur utilisée sont absorbés par la boîte à feu, de sorte que lorsque les gaz arrivent dans l'appareil tubulaire, ils sont déjà refroidis et, par conséquent, incapables de produire beaucoup de vapeur.

M. Verderber était convaincu que si on faisait passer les gaz avec leur température primitive dans les tubes, la surface de chauffe de ceux-ci absorberait toute la chaleur utile et qu'une chaudière tubulaire sans boîte à feu pourrait vaporiser le même volume d'eau qu'une chaudière munie d'une boite à feu ; toutes conditions égales d'ailleurs.

Il en a conclu que la boîte à feu était inutile comme générateur de vapeur.

1er *Essai.* — Avant d'entreprendre la transformation de la boîte à feu d'une chaudière de locomotive, il s'est borné, pour vérifier son opinion, à isoler les parois de la boîte à feu de l'action du foyer par une paroi en tôle revêtue de briques réfractaires maintenues par des crochets. Le ciel du foyer et les côtés latéraux ont, seuls, été isolés.

Cette paroi était éloignée de la boîte à feu en cuivre rouge de 60 à 70 millimètres ; une cloison verticale divisait la longueur de l'espace libre en deux parties.

Des manches à vent placées à la partie inférieure de la boîte à feu, dirigeaient dans le cendrier, l'air qui venait s'y engouffrer pendant la marche.

La locomotive ainsi modifiée a fait le service pendant dix semaines entre Buda-Pesth et Mis Kolez.

Le résultat, au point de vue de la production de vapeur, était le même qu'avec une chaudière à surface de chauffe directe ; un kilogramme de combustible vaporisait la même quantité d'eau.

Pendant les arrêts de la locomotive, la température, dans l'espace qui

sépare le foyer de la boîte à feu, était de 300 à 350 degrés, tandis que, pendant la marche, elle n'était que de 70 à 90 degrés.

A une pression de 8 1/2 atmosphères, la température dans les espaces libres, pendant la marche, n'était que la moitié de celle des parois de la boîte à feu en cuivre; on peut en conclure que la chaudière éprouvait une certaine perte de chaleur par suite de la circulation de l'air.

Par cet essai excessivement simple, il est démontré qu'avec les dimensions actuelles du corps cylindrique des chaudières de locomotives, on peut se passer de la boîte à feu comme générateur de vapeur.

Cet essai a démontré aussi que les matériaux réfractaires ne souffrent presque pas du feu lorsqu'ils sont refroidis à l'extérieur.

2e *Essai.* — Transformation de la locomotive no 19.

Après avoir acquis la certitude que l'on pouvait se passer de la boîte à feu comme générateur de vapeur et que les matériaux réfractaires résistaient très bien, la transformation d'une locomotive a été décidée.

A cet effet, on a choisi la locomotive à marchandises no 19 (36 tonnes sur 3 essieux accouplés). Ce choix était tout indiqué par le mauvais état de la boîte à feu qui devait être remplacée.

La plaque tubulaire a été remplacée par une plaque circulaire fermant complètement le corps cylindrique de la chaudière. Par cette disposition, la boîte à feu s'est trouvée supprimée comme générateur de vapeur.

Une caisse en tôle a été placée dans l'enveloppe extérieure de la boîte à feu pour recevoir la grille. Cette caisse en tôle avait 9 $^m/_m$ d'épaisseur et était éloignée de l'enveloppe extérieure de 60 $^m/_m$.

Les parois intérieures de cette caisse ont été recouvertes d'une couche de 30 à 40 $^m/_m$ d'épaisseur de terre réfractaire maintenue par de petits crochets rivés aux parois de la caisse.

La position des appareils de sûreté a été modifiée en conséquence de cette installation.

Cette machine ainsi transformée a fait avec succès, pendant plusieurs jours, les manœuvres de gares, et, le 11 août 1877, on l'a attelée à un train de 37 wagons vides à marchandises. La vitesse de ce train était de 35 kilomètres à l'heure.

La production de vapeur était normale et égale à celle des machines du même type pourvues d'une boîte à feu ordinaire.

Le premier arrêt eut lieu à 28 kilomètres de Buda-Pesth, et, après dix minutes de stationnement, les tubes du milieu de la plaque commencèrent à fuir avec une telle violence que le feu fut éteint en très peu de temps.

Après ce premier essai, la machine a été renvoyée aux ateliers, où elle a été l'objet d'un examen minutieux. On a remarqué que la plaque tubulaire s'était voilée et avait pris la forme d'un S, et que la moitié des tubes étaient lâchés.

Pour toute réparation, on s'est borné à mâter les tubes et à poser des bagues, puis on a fait un nouveau voyage d'essai.

Pendant ce nouveau voyage, la courbure de la plaque tubulaire persista, et à chaque arrêt un peu long, les mêmes accidents se sont reproduits. Cette fois, on a recherché les causes de ces accidents et on a trouvé : que la forme en S qu'avait prise la plaque tubulaire provenait de ce que la partie supérieure de cette plaque, qui n'est pas soumise à l'action du feu, ne se dilatait pas de la même manière que la partie inférieure, qui reçoit directement l'action du feu;

Que, par suite de cette dilatation qui n'a pas pu se faire librement, les extrémités des tubes ont été comprimées et leur diamètre extérieur réduit. Avec le refroidissement, les trous de la plaque tubulaire ont repris leur diamètre primitif, tandis que le diamètre des tubes est resté plus petit : de là les fuites.

Bien que les expériences que nous venons de décrire ne soient pas concluantes au point de vue d'une nouvelle construction des locomotives, elles prouvent cependant que l'on peut se passer de la boîte à feu comme générateur de vapeur.

3° *Essai.* — Pour éviter les inconvénients qui se sont produits pendant les expériences qui ont été faites avec la machine n° 19, M. Verderber a adopté la disposition suivante :

La partie cylindrique de la chaudière pénètre dans le foyer et la plaque tubulaire est faite de deux pièces, pour qu'elle puisse se dilater librement.

La machine n° 104, à laquelle on a fait subir cette transformation, est d'une construction identique à celle de la machine n° 19.

Cette machine a été livrée au service de la traction en mai 1878 et satisfait, depuis cette époque, à toutes les exigences du service.

Pour pouvoir se rendre compte exactement des conditions de fonctionnement de la machine n° 104 ainsi transformée, on a fait, en mai et juillet, des essais, et, pour avoir des points de comparaison, on a fait parallèlement les mêmes expériences avec la machine n° 19, de même construction que la machine n° 104, mais munie de la boîte à feu ordinaire. (Voir le tableau ci-contre.)

Pour le chauffage, on a fait usage des charbons Salgo-Tarjauer, appartenant à la catégorie du bon charbon brun.

La chaudière de la locomotive n° 104, a vaporisé $4^k,55$ d'eau par kilogramme de combustible, tandis que celle de la locomotive n° 19 en a vaporisé $4^k,62$, c'est-à-dire 1 1/2 0/0 en plus.

Cette différence est si faible qu'on ne peut pas l'attribuer au mode de construction de la chaudière.

Il résulte des expériences qui ont été faites avec la machine n° 104 :

1° Que, pour une même consommation de combustible, il faut que le diamètre du tuyau souffleur soit plus petit que celui des machines qui ont une boîte à feu ordinaire. Cette modification est motivée par la raison que les gaz produits dans un foyer construit en matériaux réfractaires sont à une température plus élevée que ceux produits dans une boîte à feu entourée d'eau.

Moyennes des Expériences qui ont été faites sur les lignes de Budapest-Saint-Tarjan et Budapest-Miskolez.

Locomotive		LIGNES.	PARCOURS.	CHARGE MOYENNE d'après le tableau de chargement.	CHARGE RÉELLE.	TRAVAIL.	Consommation de COMBUSTIBLE.		ALLOCATIONS.	ÉCONOMIES.	PRIMES D'ÉCONOMIE.	EAU VAPORISÉE.	EAU VAPORISÉE par kilogramme de combustible.
SÉRIE.	NUMÉROS						TOTALE.	Pour 100 tonnes kilométriques.					
			kilom.	1/10e ton.	1/10e ton.	100 t. kil.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	flor. d.	kilomét.	kilog.
III..	19	Budapest-Saint-Tarjan......	123.4	5.150	3.800	468.9	2.471	5.27	4.149	1.678	2. 68	11.55	4.67
III..	104	Id. id...........	123.4	5.250	3.528	435.4	2.425	5.57	3.919	1.525	2. 44	11.49	4.73
III..	19	Budapest - Miskolez.........	182.6	4.830	3.018	550.0	3.360	6.11	5.493	2.133	3. 41	15.41	4.59
III..	104	Id. id...........	182.6	4.830	2.925	534.0	3.428	6.41	5.384	1.956	3. 13	15.14	4.41
III..	19	Moyennes pour les deux lignes.	153.0	»	3.409	421.6	2.956	5.59	5.028	2.112	3. 38	13.48	4.62
III..	104	Id. id........	153.0	»	3.227	493.7	2.927	5.93	4.833	1.906	3. 05	13.32	4.55

La machine 104 était pourvue d'un foyer en matériaux réfractaires.
La machine 19 était pourvue d'un foyer ordinaire.

2° Que les dépôts qui se faisaient dans la boîte à feu se font, avec la disposition nouvelle, dans le premier tiers de la partie cylindrique de la chaudière ; cela prouve, en outre, que cette partie de la chaudière vaporise l'eau que vaporiserait la boîte à feu dans les chaudières ordinaires.

3° Que la capacité de la chaudière se trouve réduite par la suppression de la boîte à feu et qu'il y a lieu, pour éviter les trop brusques variations du niveau de l'eau, d'appliquer un appareil d'alimentation continue.

4° La boîte à feu en matériaux réfractaires doit être entourée d'une enveloppe laissant un espace libre de 50 $^m/_m$, dans lequel on introduit une matière mauvaise conductrice de la chaleur. Avec cette disposition, la température de l'enveloppe est bien plus faible que celle des locomotives avec boîtes à feu ordinaires.

5° Que le revêtement se maintient très bien malgré les trépidations de la machine.

6° La construction d'un foyer semblable à celui indiqué revient à environ 1,000 francs.

M. le Président demande si la disposition adoptée n'a pas pour effet d'augmenter les incrustations dans la partie tubulaire.

M. Krémer répond que dans le but de parer à ces incrustations, on fait usage de tubes à section ondulée, qui par la dilatation, subissent une petite variation de forme, de nature à produire le détachement des incrustations.

M. Gottschalk ne peut laisser passer cette communication sans constater que ce qu'on propose de faire, est juste le contraire de ce que tous les Ingénieurs ont été conduits à pratiquer, augmentant autant que possible l'importance de la boîte à feu. Les tubes à section ondulée semblent destinés à s'aplatir plus facilement que les tubes ordinaires. Enfin, il semble grave d'accumuler les incrustations dans la partie tubulaire. En somme, M. Gottschalk, bien qu'il tienne l'auteur, M. Verderber, pour un ingénieur très distingué, ne saisit pas bien l'intérêt qui s'attache à cette modification puisqu'il faudra toujours un plus ou moins grand foyer pour la combustion.

M Krémer fait observer qu'elle peut être utile, ne fût-ce que pour continuer à marcher avec un foyer qui serait un peu abîmé et craindrait les coups de feu. Au reste, le fait est acquis, puisqu'il résulte d'expériences, que la production de vapeur est restée la même. La suppression de la boîte à feu apporterait une économie notable dans la construction des chaudières de locomotives.

M. Quéruel trouve remarquable qu'on obtienne la même production de vapeur avec une même surface de chauffe. Faut-il expliquer cette anomalie en supposant que la combustion s'opère, d'une manière plus complète, dans un foyer qui n'est pas refroidi, et où les gaz peuvent atteindre, par suite, une plus haute température?

M. Regnard pense que ce fait, paradoxal au premier abord, que la diminution de la surface de chauffe n'ait amené aucune diminution dans la quantité de vapeur produite, peut s'expliquer peut-être parce que cette

quantité de vapeur, est la mesure du nombre de calories qui, dans un temps donné, ont pu traverser la paroi. Or le nombre de calories transmises à travers une paroi est en fonction de la différence de température d'un côté à l'autre de cette paroi, en même temps qu'elle est en raison inverse de son épaisseur.

On a bien, dans l'exemple qui nous occupe, diminué la surface totale, mais il faut observer que les parois du foyer ont une épaisseur considérable par rapport à celle des tubes. Les gaz entrant dans ces tubes à une température bien supérieure à celle qu'ils possèdent avec l'emploi du foyer ordinaire, il ne paraît pas impossible que la quantité totale de chaleur transmise diffère peu, en supprimant le foyer, parce qu'on regagne, semble-t-il, d'un côté ce qu'on perd de l'autre.

M. Douau pense que si les expériences faites après la suppression du foyer ont démontré que la chaudière produisait assez de vapeur pour le fonctionnement de la locomotive, cela permet de penser qu'avant la suppression de ce foyer on en produisait en excès. Aussi serait-il intéressant de savoir quels moyens ont été employés pour l'évaluation comparative de la production de la vapeur dans les deux cas.

MÉTHODE GRAPHIQUE
POUR
DÉTERMINER LA COURBE DE PRESSIONS UNIQUE
DONNANT
LA PLUS PETITE ÉPAISSEUR DE CLEF
ET
LA SECTION MINIMA D'UNE VOUTE EN BERCEAU

Par M. J.-B. GOBERT
Ingénieur des Arts et Manufactures.

§ Ier — *But du Mémoire*.

Le point de départ des procédés actuels de vérification des voûtes est la méthode de la *courbe des pressions*, indiquée par M. Méry, en 1840; cette méthode se définit par l'énoncé suivant, que nous empruntons à M. Mantion (*Études sur les ponts métalliques*, 1860) : *une section de voûte sera suffisante, pourvu qu'on puisse y tracer une courbe des pressions telle que les pressions maxima, les mêmes dans tous les points faibles, ne dépassent pas la limite de charge qu'on s'est imposée*.

On se bornait ainsi alors à rechercher par tâtonnements *une* courbe des pressions inscriptible dans le profil de la voûte donnée et compatible avec la limite de résistance des matériaux. Si l'on parvenait à en tracer *au moins une*, on se déclarait satisfait. (Voir plus loin, pages 203 et 204, l'appréciation de M. Drouets sur cette méthode.) On n'avait ainsi qu'une idée restreinte de l'excédant de matière laissé à la voûte;

On savait qu'elle était trop forte;

On ignorait de combien.

En 1867, M. Alfred Durand-Claye a donné, dans les *Annales des ponts et chaussées*, sa remarquable théorie (*) : ne se contentant plus de s'assurer qu'*une seule* courbe des pressions serait possible, il est arrivé à

(*) Voir à notre chapitre V^e, page 197, le résumé de chacune des principales théories parues depuis Méry.

indiquer, par des constructions géométriques, toutes les *solutions d'équilibre* que peut comporter la voûte, et à déterminer toutes les courbes des pressions possibles pour un profil de voûte supposé suffisamment résistant pour porter les charges imposées par le projet. Cette indication résulte du tracé d'une aire mixtiligne dans laquelle se trouvent les origines de *toutes* les pressions compatibles avec l'équilibre et avec la résistance des matériaux. Plus cette aire est grande, plus la voûte a d'excès de solidité. Si, au contraire, cette aire ne se réalise point, la voûte ne peut résister. (Voir le résumé de cette théorie, chap V, pages 216 et suivantes.)

M. Peaucellier a donné depuis, dans le *Mémorial du génie* de 1875, une autre théorie qui traduit également par une surface à la clef le lieu des poussées admissibles. On trouvera aussi, à la fin de notre Mémoire, page 222, quelques indications sur cette méthode de vérification.

Abandonnant la voie des vérifications *a posteriori*, nous nous sommes proposé de résoudre le problème suivant : *Étant donné un massif homogène, limité inférieurement à une courbe d'intrados, déterminer, dans la région de sa douelle, la portion de ce massif qu'il convient d'appareiller en voûte pour qu'elle se soutienne elle-même et supporte en même temps le restant du massif, sous la condition que la pression par unité de surface ne dépassera nulle part la limite de résistance* R *des matériaux adoptés, mais qu'elle sera cependant atteinte dans le joint de clef, dans le joint de plus grande fatigue, et enfin dans tous les points de l'extrados cherché.*

Tandis que M. Durand-Claye et M. Peaucellier traduisent par une aire à la clef le degré de solidité d'une voûte donnée, nous nous proposons de tracer directement un profil qui réalise le minimum d'épaisseur avec une *seule* courbe des pressions : l'aire des origines des pressions possibles devant, par conséquent, pour notre profil, se trouver réduite à *un point.*

Avec cette solution, nous ne resterons plus en présence d'une voûte dans laquelle des infinités de courbes des pressions, plus ou moins utiles, seraient possibles. Nous aurons la solution de la seule courbe des pressions nécessaire au massif de matériaux qui nous est donné à voûter, eu égard aux conditions de charge et de résistance imposées. Nous démontrerons que cette courbe des pressions est suffisante.

La question des voûtes ne comporte point d'indétermination : dans

une voûte abandonnée à elle-même, il n'y a, pour un certain état des surcharges, qu'*une* courbe des pressions; c'est cette courbe donnant l'épaisseur minima à la clef que nous avons recherchée.

L'ingénieur, arrivé par notre méthode à la connaissance de cette épaisseur minima de la clef, restera toujours libre ensuite de l'augmenter selon le sentiment pratique qu'il aura des effets du décintrement, de la cohésion des mortiers, et en général des influences matérielles de l'exécution, effets qu'aucune théorie ne pourra jamais faire entrer rigoureusement en ligne de compte. Pour nous, nous croyons que le coefficient du dixième, habituellement admis pour la résistance des pierres, tient suffisamment compte de ces effets, et que nos épaisseurs pourront être conservées sans majoration.

PRÉLIMINAIRES.

§ II. — *De la loi de la répartition des pressions élémentaires.*

Avant d'aborder le vif de notre théorie, il est nécessaire que nous rappellions succinctement quelques notions relatives à la répartition des pressions élémentaires et à la composition des poussées et de leurs pressions résultantes.

La loi de la répartition des pressions élémentaires engendrées par une force quelconque, normale à une surface plane, est encore inconnue. La recherche de cette loi est entièrement du domaine de la physique expérimentale, et l'étude des pressions *élémentaires*, en différents points d'un solide, présente des difficultés qui n'ont pas encore été vaincues. Les écrivains qui se sont occupés de ce sujet, ont tous signalé le parti que l'on avait espéré tirer du *dynamomètre optique* de Wertheim; mais rien jusqu'ici n'a répondu à cette attente, et la loi dite du *trapèze*, ou loi de Bélanger, admise par presque tous les ingénieurs (*), attend encore une démonstration analytique ou expérimentale. Jusqu'ici rien de mieux que cette loi n'a été proposé. Heureusement que l'expérience des constructions où on l'a appliquée ne l'a pas infirmée d'une manière notable.

1. Le docteur Scheffler dans son *Traité de la stabilité des constructions* la rejette cependant complètement.

Nous pouvons cependant signaler un progrès très important, réalisé tout dernièrement dans la voie de ces recherches, par M. Leger, ingénieur, ancien élève de l'École centrale, qui vient d'exposer à la Société des Ingénieurs civils ses travaux sur ce sujet, et qui est arrivé, par des expériences de polarisation exécutées sur des solides transparents, à mettre en évidence le sens et l'importance relative des efforts moléculaires provoqués dans des solides comprimés, tendus et fléchis.

Il y a tout lieu d'espérer que ces travaux, poursuivis dans cette voie, l'amèneront à la connaissance des lois cherchées, et que les théories de la résistance des matériaux se trouveront bientôt en possession du point de départ certain qui leur a manqué jusqu'ici.

Mais en attendant ces résultats, et dans l'état actuel de la science, il faudra encore admettre l'hypothèse de M. Bélanger : nous l'admettrons donc aussi, mais plutôt pour la facilité de nos explications que pour la rigueur de nos déductions, car nous démontrerons bientôt que notre théorie est tout à fait indépendante de cette loi des répartitions, et que toute autre loi nouvelle s'introduirait dans nos épures aussi facilement que celle de Bélanger, et sans qu'il fût nécessaire de rien changer à notre méthode.

§ III. — *Formule de Bélanger — Loi du trapèze.*

La formule de Bélanger s'écrit (fig. 1, pl. 132) :

$$R = \frac{2P}{\Omega}\left(2 - \frac{3a}{l}\right) \qquad (1)$$

R représentant la pression par unité de surface sur l'arête B la plus comprimée d'un joint de longueur l et de surface Ω ; P est la résultante des pressions normales sur ce joint, a la distance de P à l'arête considérée.

Quand la force est appliquée au milieu du joint

$$a = \frac{l}{2} \text{ et } R = \frac{P}{\Omega},$$

c'est-à-dire que la pression est alors répartie uniformément sur tout le joint.

Si $a = \frac{l}{3}$, R devient $R = \frac{2P}{\Omega}$, soit le double de la pression moyenne : Dans ce cas, la pression sur l'autre arête est nulle.

Si, dans la formule (1), on suppose que la force P se déplace parallèlement à elle-même, et si on considère la pression R comme devant rester constante; si l'on considère en même temps a comme une variable indépendante exprimant les déplacements de P, il sera facile, en résolvant l'équation (1) par rapport à P, de déterminer toutes les pressions résultantes qui produiraient en B la pression constante R par unité de surface :

Il suffira ensuite de construire par points l'équation

$$P = \frac{\Omega R l}{4l - 6a}, \qquad (2)$$

déduite de l'équation (1) pour obtenir les courbes symétriques SEB, SFA (fig. 2, pl. 132).

On sait que chacune de ces branches, telle que SEB, se compose :

1° D'une portion de droite BE qui répond au premier tiers BD du joint ;

2° D'une portion ES d'hyperbole équilatère ayant pour asymptotes, d'une part le joint considéré, et d'autre part la droite CF normale à ce joint et partant du second tiers C de ce joint. Cette hyperbole est tangente en E à la droite EB.

§ IV. — *Propriétés des aires des courbes* SAB (fig. 2, pl. 132).

De la construction même de ces branches, il résulte que :

1° Toute pression dont l'origine se trouve sur l'une ou l'autre courbe SFA ou SEB, produit au point A ou au point B une pression élémentaire égale à R kilos par unité de surface.

2° Toute pression résultante dont l'origine est *dans* l'aire SAB ne produit, en aucun cas sur le joint AB, une pression élémentaire atteignant R kilos par unité de surface, tandis qu'au contraire cette limite R est dépassée quand la pression totale considérée admet pour origine un point pris en dehors de la surface SAB.

3° Plus la valeur de R est numériquement grande, c'est-à-dire plus les pierres employées sont résistantes, plus le contour-limite s'allonge et s'effile. Quand R est supposée infinie, la surface SAB se transforme en une bande indéfinie comprise entre deux droites pa-

rallèles, partant des extrémités A et B du joint considéré et perpendiculaires à ce joint.

Cette aire SAB, limite et circonscrit donc toutes les origines des pressions compatibles avec la résistance des matériaux à employer.

Nous venons de considérer les aires-limite relatives à la *résistance seule* des matériaux ; on peut considérer de même les aires-limite qui se rapporteraient à l'*équilibre seul* de la voûte ; mais comme les premières sont toujours comprises dans ces dernières*, nous pouvons nous contenter de l'étude des aires de résistance, certains que nous serons alors que la voûte qui satisfera aux aires de résistance, satisfera *a fortiori* aux aires d'équilibre.

§ V. — *Rappel de la détermination des poussées et des pressions se faisant mutuellement équilibre.*

Quand on étudie une portion de voûte, on envisage, soit à la clef, soit à un joint quelconque, des poussées ou des pressions dont on recherche les effets en tenant compte du poids du massif considéré rapporté au centre de gravité de ce massif, et l'on a constamment alors besoin de résoudre les deux problèmes suivants (fig. 3, pl. 132) :

Premier problème. — *Étant donnée une poussée* FG *à la clef, quelle est, en grandeur et en direction, la pression qui lui fait équilibre sur un joint quelconque* CD.

Deuxième problème. — *Réciproquement, étant donnée une composante normale* IL *sur un joint courant quelconque, quelle est la pression oblique* IK *qui a fourni cette composante, et quelle est la poussée à la clef qui lui fait équilibre?*

Ces deux problèmes se résolvent par des compositions de forces, selon la loi du parallélogramme des forces.

En effet, le solide ABCDE n'est soumis qu'à l'action de trois forces :

Poussée FG donnée en grandeur et en direction ;

Poids Q agissant suivant la verticale VV ;

Pression IK qu'il s'agit de déterminer en grandeur et en direction.

Comme la portion de voûte sur laquelle agissent ces trois forces est en équilibre, elles concourent en un même point, et si l'on prolonge FG jusqu'à sa rencontre avec VV, le point d'intersection O est un point

(*) Voir à ce sujet le mémoire précité de M. Durand-Claye.

de la direction de la force cherchée. Portant OM = FG, ON = Q, et achevant le parallélogramme des forces, on détermine OH, qui représente, en grandeur et en direction, la pression demandée. Il n'y a plus qu'à la transporter de OH en IK, sur sa propre direction, pour avoir cette pression représentée à partir de son point d'application I sur le joint DC.

Elle est oblique à ce joint.

Nous ne ferons pas intervenir dans nos épures la condition des limites de poussées qui correspondent au glissement de la voûte sur ses joints ; M. Ed. Collignon a en effet démontré graphiquement que cette condition peut être regardée comme toujours remplie. (Voir aussi à ce sujet la remarquable Étude de M. le colonel Peaucellier, dans le *Mémorial de l'officier du génie*, année 1875.)

Par conséquent, nous décomposerons encore la pression IK pour ne conserver, en définitive, que sa composante normale IL (*).

Pour résoudre le second problème, il suffit (fig. 3) de renverser les constructions géométriques qui viennent d'être rappelées.

IK doit être l'hypoténuse du triangle rectangle KIT, dont un des côtés IT est égal au poids Q, et dont l'autre côté TK est horizontal. C'est donc quelque part sur l'horizontale TM' qu'il faut chercher le point K. Ce même point K doit être aussi l'un des sommets d'un autre triangle rectangle IKL et se trouver, par conséquent, quelque part sur la direction de la droite LN', normale à IL. C'est donc l'intersection des

(*) En dehors des considérations du glissement, nous signalerons le Mémoire publié par M. Leblanc, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1869, et relatif au *Calcul des pressions pour le cas où la résultante est oblique au joint*. M. Leblanc affirme qu'il est dangereux de ne considérer que la composante normale, et qu'il convient de considérer le joint comme soumis à des forces normales dont la résultante serait la force qui aurait pour projection orthogonale la pression oblique P. C'est-à-dire que, au lieu de $AB = P \cos \alpha$, on devrait prendre pour résultante normale $\frac{P}{\cos \alpha}$. En admettant, comme on le fait généralement, qu'il n'y a pas glissement dans les maçonneries fraîches, tant que l'angle α ne dépasse pas 30°, si l'on se rendait aux idées de M. Leblanc, la plus grande différence qui en résulterait en pratique, entre $\frac{P}{\cos \alpha}$ et $P \cos \alpha$, reviendrait à admettre 1.15 P au lieu de 0.86 P, pour la force normale tendant à produire l'écrasement. On s'accorderait ainsi un excès de sécurité d'environ 0,29 P, comportant un accroissement correspondant dans les épaisseurs de la voûte. C'est une différence relativement considérable qui fait voir combien il est désirable qu'une méthode expérimentale (celle de M. Leger, par exemple, dont nous parlions ci-dessus) vienne donner des coefficients certains et affranchir les ingénieurs des hésitations de la théorie actuelle.

deux droites LN′ et TM′ qui fournira le point K et qui déterminera notre résultante cherchée IK.

Le reste des constructions à effectuer devient évident. Prolonger IK jusqu'à sa rencontre avec VV ; tracer OF perpendiculaire à la clef et porter GF = TK.

GF est la poussée cherchée,

G est son point d'application.

CHAPITRE PREMIER

USAGE DES DROITES-LIMITE ET DE LEURS COURBES-CONJUGUÉES POUR LA DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR MINIMA DE LA CLEF QUI SUFFIRAIT POUR UN SEUL VOUSSOIR, LIMITÉ A LA CLEF ET A UN JOINT COURANT QUELCONQUE.

---

§ VI. — *Détermination de la droite-limite.*

Ces préliminaires établis, nous pouvons aborder maintenant l'exposé de notre théorie, en commençant par la détermination des droites que nous avons appelées *droites-limite.*

Admettons (fig. 4, pl. 132) qu'un intrados tel que AM nous soit donné, et traçons le joint vertical AB de la clef ; nous connaissons les matériaux qu'il s'agit d'employer, et nous savons que la limite de la pression que nous ne devons pas dépasser est fixée à R kilos par unité de surface. Nous ne donnons pas la longueur du joint de clef : c'est l'inconnue que nous cherchons précisément à dégager.

Supposons que nous fassions varier graduellement l'épaisseur à la clef en lui attribuant successivement des valeurs croissantes, telles que AB′, AB″, AB‴, etc.

Si, pour chacune de ces épaisseurs, nous traçons la surface représentative des pressions possibles pour la limite de R kilos, ainsi que

nous l'avons expliqué plus haut (page 137), nous obtiendrons les surfaces

A S′ B′
A S″ B″
A S‴ B‴
. . . . .
etc. . . .

que nous indiquons chacune avec des hachures différentes, et qui se recouvriront partiellement, comme le montre la fig. 4, pl. 132.

Si, au lieu de varier par grandeurs déterminées, comme nous venons de le supposer d'abord, la clef va en croissant par degrés insensibles, les aires des pressions possibles se recouvriront successivement en déterminant, par leurs superpositions graduelles, un *lieu géométrique* qui se trouvera limité, d'un côté par la courbe des points A, S′, S″, S‴, etc., et de l'autre par le joint de clef.

Or, quand on admet l'hypothèse de Bélanger, les points A, S′, S″, S‴, *sont tous situés sur une ligne droite* passant par le point A, et dont le coefficient angulaire, par rapport au joint de clef, a pour valeur 200 R, si l'on exprime R en kilogrammes, et les dimensions du joint en centimètres.

Et en effet :

Si, dans la formule (2) de la page 137 :

$$P = \frac{\Omega R l}{4l - 6a}$$

qui fournit la valeur des pressions normales à la clef, on fait $a = \frac{l}{2}$, on obtient la valeur des longueurs S′ x, S″ y, S‴ z, etc, et cette valeur a pour expression :

$$P = \Omega R.$$

Comme on opère habituellement, en ce genre de recherches, sur une bande de voûte de 1 mètre de longueur suivant la génératrice du berceau, et que R est rapportée au centimètre carré, la surface Ω du joint de clef, pour une aire quelconque telle que A S″ B″, par exemple, a pour expresion

$$\Omega = 100^{\text{centim.}} \times 2 \times \overline{Ay}.$$

Or S″ y est égale à ΩR,

c'est-à-dire que

$$S''y = 100 \times 2 \times \overline{Ay} \times R,$$

ou

$$S''y = 200\,\overline{Ay} \times R,$$

d'où enfin

$$\frac{S''y}{Ay} = 200\,R.$$

Le rapport d'une ordonnée du lieu des points S, S′, S″, etc., à son abcisse est ***constant***, c'est-à-dire que ces points sont en ligne droite. La constante de l'équation de la droite est nulle, par conséquent cette droite passe par le point A.

Pour la facilité de nos explications, nous l'avons appelée ***droite-limite de*** R ***kilos***.

§ VII. — *Exemple d'un tracé de droite-limite.*

Cette droite-limite est extrêmement facile à tracer.

Si, par exemple, il s'agit de la droite-limite de 6 kilos par centimètre carré, nous porterons, selon l'échelle du dessin et à partir du point A (fig. 5), une longueur AB représentant une épaisseur de clef quelconque, 40 centimètres par exemple, et nous élèverons une perpendiculaire au milieu de cette clef.

Cette clef de $0^m,40$ de hauteur représente une surface de $40 \times 100 = 4000$ centimètres carrés (pour une longueur de douelle égale à 1 mètre ou 100 centimètres). Ces 4000 centimètres carrés peuvent supporter 4000×6 kilos $= 24{,}000$ kilos.

Si donc, sur la perpendiculaire élevée au milieu de la clef, c'est-à-dire à $0^m,20$ du point d'intrados, nous portons 24,000 kilos à l'échelle adoptée pour les poids et pour les forces, nous aurons déterminé un point O′ de la ***droite-limite cherchée***. Il ne restera qu'à joindre ce point O′ avec le point d'intersection de la clef et de l'intrados pour avoir la droite-limite AF demandée.

Les ***droites-limite*** sont caractéristiques de la résistance des matériaux employés : plus la valeur de R est numériquement grande, plus l'angle BAF (fig. 4) est grand ; pour des matériaux infiniment résistants, cet angle deviendrait ***droit***.

§ VIII. — ***Propriétés de la droite-limite. — Première élimination parmi les poussées du joint de clef*** (fig. 6, pl. 132).

C'est par l'introduction des *droites-limite* dans nos épures que nous faisons intervenir graphiquement dans les projets la valeur de la résistance des matériaux, et que nous réalisons en même temps une première élimination des poussées inadmissibles à la clef et des pressions inadmissibles aux joints courants ; nous croyons donc devoir insister sur l'énoncé détaillé des propriétés de ces droites.

Ces propriétés résultent, du reste, sans nouvelle démonstration, de la génération même de ces lignes, telle que nous l'avons expliquée ci-dessus :

1° Toute poussée (fig. 6), telle que celle qui est représentée en grandeur et en position par la ligne PP′, dont l'extrémité P est située *au-dessous* de la droite-limite, produit au point A de l'intrados une pression, par centimètre carré, qui dépasse la limite R imposée :

Toutes les poussées de cette catégorie sont donc *inadmissibles*, quelle que doive être l'épaisseur à la clef cherchée. *L'espace neutre*, ainsi déterminé *au-dessous* de la droite-limite, est donc le lieu géométrique des origines d'une catégorie de pressions que nous pouvons, *dès maintenant éliminer*, avec la certitude qu'elles produiraient à l'intrados des pressions élémentaires trop fortes.

La proportion des pressions ainsi éliminées est d'autant plus grande que la valeur numérique de R est plus petite, c'est-à-dire que les matériaux sont plus tendres à l'écrasement.

2° Toute poussée, telle que celle qui est représentée par $F'x$ (fig. 6), dont l'extrémité se trouvera *sur la droite-limite*, engendrera, au point A de l'intrados une pression élémentaire qui sera juste égale à la limite R imposée.

3° Enfin toute poussée telle que celle qui est représentée par la droite MM′, dont l'origine M′ se trouve *au-dessus* de la droite-limite, donnera toujours, sur le joint considéré, un travail inférieur à la limite R.

Ainsi, avant d'avoir pu nous former une idée quelconque sur l'épais-

seur qu'il conviendra d'attribuer à la clef, nous savons dès maintenant que c'est seulement dans l'*angle utile* FAB, et dans l'espace indéfini situé *au-dessus* de la droite-limite F A, que nous devons rechercher les origines des poussées à la clef, qui seules pourront être compatibles avec la limite de la résistance des matériaux que nous devrons employer.

§ IX. — *Notion des courbes-limite généralisant la notion des droites-limite.*

Nous avons été conduits à la *droite-limite* en nous servant des aires représentatives de la loi de Bélanger; mais il est bien essentiel de remarquer que cette loi ne forme point partie intégrante de notre méthode.

Supposons qu'une autre loi de la répartition des pressions élémentaires sur un joint soit découverte et reconnue meilleure, et que nous devions l'appliquer : elle nous sera donnée, soit par une formule algébrique, soit par une définition géométrique, et nous pourrons toujours déterminer, par le calcul ou à l'aide d'un tracé par points, le contour qui limiterait les pressions possibles, d'après cette nouvelle loi.

Une fois ce contour délimité, nous le traiterons comme nous avons traité les contours mixtilignes AS'B', AS"B", etc., de la fig. 4, de manière à rechercher le lieu géométrique des aires nouvelles lorsqu'elles se recouvrent successivement et que la longueur de la clef croît graduellement; ce lieu géométrique, qui était limité par la *droite-limite* quand nous prenions l'hypothèse de Bélanger, sera maintenant limité par une *courbe-limite* qui pourra être convexe, ou concave, ou peut-être même à inflexions.

Cette *courbe-limite* jouira, sans modifications, de toutes les propriétés que nous avons reconnues à la *droite-limite*, et son application dans notre théorie se fera exactement comme celle que nous allons développer pour la *droite-limite.*

On ne devra donc pas, dans ce qui va suivre, considérer nos explications comme s'attachant exclusivement à l'idée d'une *droite* AF (fig, 4, 5, 6), qui limiterait l'*espace utile;* mais, au contraire, on se souviendra que nous ne conservons cette droite que pour simplifier notre exposé, et que ce que nous disons de la *droite-limite* doit s'entendre d'une façon générale pour les *courbes-limite;* nous complétons, du

reste, ces éclaircissements au paragraphe XX, page 151 ci-dessous, en donnant la génération des courbes conjuguées.

§ X. — *Droites-limite des joints courants.*

Tout ce que nous avons dit précédemment pour le joint de clef est applicable aux autres joints de la voûte considérée ; et l'on peut tracer de même, en chacun de ces joints, à l'intrados, la droite-limite CH (fig. 7) caractéristique de la limite de résistance qui ne doit pas être dépassée *en ce joint* CD.

C'est au-dessus de cette droite, dans l'*angle utile* indéfini DCH qu'il faudra seulement rechercher les pressions sur le joint indéfini CD.... compatibles avec la limite de résistance imposée.

La première élimination que nous avons faite à la clef se retrouve ainsi pour chaque joint courant et s'effectue tout aussi simplement, grâce à la droite-limite.

On voit, par ces propriétés, combien il serait facile d'introduire dans les projets, des coefficients de résistance variés, supposé qu'on fût conduit, par des raisons d'économie, à employer dans le corps d'un même ouvrage des matériaux de duretés différentes. Il suffirait, pour arriver à étudier un tel projet, de faire varier convenablement les coefficients angulaires des *droites-limite* aux joints où les matériaux devraient changer de nature, et par conséquent de dureté.

§ XI. — *Seconde élimination parmi les poussées du joint de clef. — Recherche des poussées que l'on pourrait admettre si l'on n'avait à considérer que la résistance au joint de clef, mais qu'il faut éliminer parce qu'elles produiraient sur un joint courant de la voûte des pressions élémentaires plus fortes que la limite* R *imposée.*

Nous venons d'indiquer les propriétés de la droite-limite ; cette droite nous permet d'éliminer toutes les poussées à la clef qui produiraient sur le joint de clef des pressions élémentaires dépassant la limite R fixée, et nous ne conservons que les poussées qui auraient leur origine dans l'angle utile BAF (fig. 7), certain que nous sommes que toutes ces poussées sont ainsi possibles *à la clef*.

Mais il ne suffit pas qu'une poussée soit admissible à la clef pour que nous devions la considérer comme définitivement admissible *pour toute la voûte*.

Cette poussée engendre, en chacun des joints courants, une pression correspondante et qui lui fait équilibre, et il faut encore que cette pression ne produise pas, sur ce joint courant quelconque, d'efforts élémentaires dépassant la limite R. Or, cette condition est satisfaite sur le joint courant quand la pression résultante n'y a pas son origine *au-dessous de la droite-limite de ce joint*.

Nous avons donc à poursuivre notre recherche pour éliminer, parmi les poussées possibles de la clef qui ont leur origine au-dessus de la droite-limite AF (fig. 7) ; toutes celles dont les résultantes, sur le joint quelconque CD, auraient leur origine *au-dessous de la droite-limite* CH. Soient donc (fig. 7) :

ACDIB, le massif à voûter (*) ;

Q, son poids total ;

VV, la verticale passant par son centre de gravité ;

CH, la droite-limite du joint quelconque CD pour une résistance limite de R kilos par unité de surface ;

MN, une pression normale ayant son origine sur la *droite-limite* CH ;

(*) A propos de la forme de ce massif nous devons rappeler que le problème de la détermination de l'épaisseur des voûtes, tel que nous l'envisageons et tel qu'il se présente du reste forcément en pratique est le suivant :

Étant donné un massif homogène *abcdf* (fig. 8) limité inférieurement à une courbe d'intrados, déterminer dans la région de douelle de ce massif, la zone minima *abqg* qu'il convient d'appareiller en voûte pour qu'elle se soutienne elle-même et supporte en même temps le massif de maçonnerie qui reste au-dessus d'elle, sous la condition que la pression par unité de surface ne dépassera nulle part la limite R de la résistance des matériaux adoptés ; cette pression R étant cependant atteinte, pour la bonne économie des matériaux dans le joint de plus grande fatigue, et dans le joint de clef.

Notre méthode résout directement ce problème :

Quand elle a donné la courbe *qg* (fig. 8), il faut comparer le massif *fgqcd* qui reste comme surcharge, à la surcharge indiquée par le projet. S'il y a égalité ou à peu près, l'extrados *qg* est à conserver.

Si la différence est notable, il faut modifier l'épure en faisant varier la ligne *fd*. Dans le problème des voûtes, le poids de la maçonnerie appareillée est toujours tellement grand par rapport aux charges et aux surcharges, qu'il est impossible de le négliger. Ce problème se présente donc comme une règle de fausse position, très simple il est vrai, mais inévitable.

M. Yvon-Villarceau qui a posé algébriquement le problème des voûtes en se donnant comme inconnues l'épaisseur à la clef et la forme de l'intrados a bien été forcé aussi, malgré le secours de l'analyse algébrique la plus savante, de se donner la hauteur de la charge totale à la clef *comptée à partir de l'intrados*.

Le solide ACDIB est en équilibre sous l'action de trois forces :

1° La résultante oblique dont MN est la composante normale par rapport au joint CD ;

2° Le poids Q du massif agissant suivant la verticale VV ;

3° Une certaine poussée, normale à la clef, et réciproque de MN.

Ces trois forces concourent au même point.

En leur appliquant le procédé de la recomposition du parallélogramme des forces que nous avons rappelé dans nos préliminaires, nous déterminerons la poussée à la clef, qui ferait équilibre à la fois au poids Q et à la pression MN, et nous trouvons ainsi à la clef la poussée M'N' *corrélative* ou conjuguée de MN, et le point N' *corrélatif de* N.

§ XII. — *Courbe-conjuguée de la droite-limite.*

Opérant pour tous les points de la *droite-limite* CH comme nous venons d'opérer pour le point N, nous obtiendrons à la clef une série de points, conjugués des points de la droite-limite CH, et qui constitueront, par leur ensemble, la courbe C'H'.

Cette courbe est une hyperbole. Nous l'appellerons la *courbe-conjuguée* de la droite-limite CH.

La portion de cette hyperbole qui nous intéressera dans nos épures est très peu courbe, et il est plus facile de la tracer à l'aide de quelques points que de recourir à son équation ; notre méthode reste ainsi complètement graphique et simple en application ; nous donnons, du reste, à la page 167 et à la page 170 de ce Mémoire, une étude de M. Guévara et une de M. Fouret, déterminant l'équation de ces courbes et leurs principales propriétés analytiques.

Si les constructions qui nous ont fourni la *courbe-conjuguée* C'H' étaient appliquées à une pression PU (fig. 7), dont l'extrémité P serait prise *au-dessus* de la *droite-limite* CH, il est facile de voir que la poussée conjuguée P'U' aurait son origine P' à la gauche de la *courbe-conjuguée* C'H' : dans la concavité de C'H', par conséquent.

Si, au contraire, la pression considérée ST avait pour origine un point S pris *en dessous* de la *droite-limite* CH, sa conjuguée S'T' à la clef aurait son origine S' à droite de la *courbe-conjugée* C'H', c'est-à-dire du côté de sa convexité.

§ XIII. — *Propriétés des courbes-conjuguées.*

Il résulte de cette génération des courbes-conjuguées qu'elles jouissent des propriétés suivantes (fig. 7, pl. 132) :

1° Toute poussée à la clef dont l'origine se trouve A GAUCHE, c'est-à-dire dans la concavité de la *courbe-conjuguée* C'H', engendrera sur le joint CD, qui aura fourni cette courbe-conjuguée, une pression par unité de surface, *plus petite* que la limite R imposée.

2° Toute poussée à la clef ayant son origine SUR la *courbe-conjuguée* C'H', produira à l'intrados, sur le joint générateur CD, une pression par unité de surface *juste égale* à la limite R.

3° Enfin, toute poussée dont l'origine se trouverait A DROITE de la courbe-conjuguée C'H', produirait à l'intrados, sur le joint CD, une pression par unité de surface, *plus grande* que la limite R, et serait, par conséquent, *inadmissible.*

Tout l'espace situé à droite de la *courbe-conjuguée* C'H', c'est-à-dire du côté de sa *convexité*, est donc un *espace mort;* aucune poussée ayant son origine dans cet espace ne peut convenir à la portion de voûte considérée, parce qu'elle fatiguerait trop le joint CD ; on ne parviendrait à réduire cet espace qu'en modifiant la *droite-limite* CH, de manière à augmenter l'angle MCH, ce qui reviendrait à augmenter la résistance des matériaux employés au joint CD.

§ XIV. — *Aire utile.*

Ainsi donc, parmi toutes les poussées à la clef dont les origines se trouveraient comprises dans l'aire FAB (fig. 7), (poussées admissibles si l'on ne considérait que la seule résistance à la clef), nous devons encore éliminer toutes celles qui prendraient leur origine à *droite* de la *courbe-conjuguée* C'H', puisqu'elles produiraient des pressions trop fortes sur le joint CD.

L'aire mixtiligne FO' C' reste donc définitivement *seule utile*, et elle jouit des propriétés suivantes :

1° Toutes les poussées qui ont leur origine en dehors de l'aire FO′C′ sont *inadmissibles*.

2° Toutes les poussées qui ont leur origine dans l'*aire utile* FO′C′ sont toujours possibles et ne produisent, ni à la clef, ni au joint CD, de pression atteignant la limite R par unité de surface.

3° Les poussées qui ont leur origine sur la portion O′C′ de la *courbe conjuguée* produisent à l'intrados du joint CD une pression élémentaire égale à R, tandis que la pression élémentaire qu'elles engendrent à la clef reste toujours inférieure à R.

4° Les poussées dont l'origine est sur la portion O′F de la *droite-limite* engendrent, à l'intrados de la clef, une pression élémentaire de R kilos, tandis que les pressions élémentaires qu'elles produisent au joint quelconque CD restent toujours inférieures à la limite R.

5° *Enfin la poussée qui a pour origine le point* O′ *produit simultanément à la clef et au joint* CD, *des pressions par unité de surface qui sont juste égales à la limite* R.

§ XV. — *Propriétés du point le plus bas O′.*

Le point d'intersection O′ (fig. 7) se présente donc comme un point singulier : il est le *plus bas* de tous ceux que l'on peut choisir dans l'*aire utile* FO′C′ pour origine d'une poussée possible.

La poussée OO′ est donc, parmi toutes les autres poussées possibles, celle qui se rapproche le plus du sommet A de l'intrados.

Par conséquent, le point d'application O (sur le joint de la clef) de cette poussée singulière est également le plus bas de tous les points d'application possibles à la clef.

La distance OA est donc un minimum absolu, et nulle poussée admissible, tant pour son influence sur le joint de clef que pour sa réaction sur le joint quelconque CD, ne pourra avoir son point d'application au-dessous de ce point O.

§ XVI. — *Cas particulier du point bas.*

L'intersection de la *courbe conjuguée* et de la *droite-limite* peut se présenter de deux manières différentes par rapport au point le plus bas

de la *courbe conjuguée :* si le point O′ (fig. 9, pl. 132) est au-dessus du point T déterminé par la tangente horizontale TT′, l'*aire utile* FO′C′ garde, comme point le plus bas, ce même point d'intersection O′; mais si la *courbe conjuguée* se présente dans la position C″ O″ H″, son point d'intersection I se trouvant à gauche et au-dessus du point le plus bas O″, il est évident qu'il faut alors prendre ce point bas O″ comme générateur de la poussée O″ O‴ qui détermine l'épaisseur à la clef; poussée au-dessous de laquelle aucune autre ne peut être admise, puisqu'elle aurait son origine en dehors de l'aire utile C″O″IF.

C'est O″ qui devient, dans ce cas, le point le *plus bas* de l'*aire utile*, comme O′ l'est dans le cas de la courbe C′H′ (fig. 9). Cette particularité des *courbes conjuguées* ne change rien à la présente théorie : elle attire, au contraire, l'attention sur le soin qu'il faut mettre à ne considérer que le point le *plus bas* de l'*aire utile*, quelle que soit d'ailleurs la forme géométrique de la *courbe conjuguée.*

§ XVII. — *Épaisseur minima de la clef.*

La plus petite épaisseur AX (fig. 10, pl. 132) qui convienne à la clef de la portion de voûte BACDI, pour satisfaire strictement aux conditions d'équilibre et de résistance, à la fois au joint de la clef et au joint CD, est égale au double de la longueur minima OA, puisque cette épaisseur correspond à la poussée totale OO′ appliquée au milieu du joint AX, et par conséquent répartie uniformément et dans les meilleures conditions.

C'est-à-dire que par le point O′ (fig. 10), il n'y a de possible que la courbe des pressions OO″ engendrée par la poussée O′O, tandis que par un autre point de la clef, tel que Q, situé au-dessus du point O, on peut tracer toutes les courbes des pressions qui seraient engendrées par les poussées ayant pour origines les différents points compris entre P et R et qui (étant situés dans l'intérieur de l'*aire utile* FO′C′) donneraient, comme on l'a vu ci-dessus, des pressions par unité de surface à la clef et au joint CD inférieures à la limite R.

Ces différentes courbes des pressions qui partiraient toutes du point Q, se dirigeraient vers différents points du joint CD, comme, par exemple, les courbes Qα, Qβ, Qγ, etc.

§ XVIII. — *Courbe unique des pressions.*

Par le point O de la clef et pour la portion de massif que nous considérons (fig. 10), on ne peut donc tracer qu'une seule courbe des pressions; c'est la courbe du minimum d'épaisseur cherché.

§ XIX. — *Longueur minima du joint* CD.

La plus petite longueur du joint CD est maintenant facile à trouver.

Si l'on a tracé la courbe des pressions minima OM′ (fig. 11, pl. 133), le point M′ en résulte, et il suffit de doubler la longueur CM′ pour avoir le point D qui détermine la longueur du joint courant.

Si on ne veut pas tracer entièrement la courbe des pressions, on compose la poussée O′O avec le poids Q : le point de passage de leur résultante normale M′N′ sur le joint CD, fournit le point M′.

La pression normale M′N′ est réciproque de la poussée O′O.

Le point O′, situé sur la courbe conjuguée C′H′ est le réciproque du point N′ situé sur la droite-limite CH.

Il y a réciprocité complète entre les *courbes conjuguées* et les *droites-limite* du joint de clef AX et du joint CD.

Si l'on reportait par points la *droite-limite* AF au joint CD (par des constructions identiques à celles qui ont servi à reporter la droite CH à la clef), on trouverait une *courbe conjuguée* A′F′ qui jouit, relativement aux pressions possibles sur le joint CD, des propriétés de la courbe C′H′ relativement aux pressions possibles sur le joint de clef.

§ XX. — *La courbe conjuguée peut être considérée comme l'enveloppe des transformées des aires représentatives de la loi admise pour la répartition des pressions sur un joint.*

Quand la limite de l'*angle utile* est une ligne droite (celle que nous avons appelée *droite-limite*), sa courbe conjuguée sur un joint réciproque est une hyperbole facile à tracer, soit par points, soit par son équation (voyez paragraphe XXXVIII, pages 167 et suivantes); mais nous

avons déjà fait remarquer que notre théorie est indépendante de la loi que l'on admet pour la répartition des pressions ; au lieu d'avoir devant nous des *droites-limite*, nous pourrions, ainsi que nous le disions au paragraphe IX, avoir des *courbes-limite*. Les conjuguées de ces *courbes* ne seraient plus des hyperboles ; mais leurs propriétés dans notre méthode restant les mêmes, nous croyons qu'il est bon de compléter la notion de ces courbes, en montrant qu'elles sont les enveloppes des transformées des aires représentatives de la loi que l'on admet pour la répartition des pressions.

A cet effet, reprenons le solide P'OXY (fig. 12, pl. 133), et supposons qu'au joint quelconque OX nous tracions une aire des pressions possibles, telle que ODE. Cette aire répond, à la clef, à un certain groupe de poussées que nous pouvons délimiter en traçant par points à la clef les réciproques des points du contour de l'*aire-limite* OED considérée.

Nous obtiendrons ainsi une surface courbe terminée en pointe en E', et limitée latéralement par deux branches E'D' et E'O' se dirigeant vers l'infini.

Opérant de même sur une seconde *aire-limite*, telle que OBC : elle nous fournira à la clef une aire réciproque également terminée en pointe en C' et limitée aussi par deux autres branches courbes C'B' et C'O'' allant vers l'infini ; cette aire curviligne recouvrant partiellement la précédente comme l'aire OBC a recouvert partiellement l'aire ODE.

Si l'on suppose que sur le joint quelconque considéré OB, on ait tracé toutes les aires des pressions qui répondraient à des variations graduelles et insensibles de la longueur inconnue de ce joint, on sait, par ce que nous avons démontré précédemment, que l'enveloppe de toutes ces aires est une surface indéfinie vers le haut et limitée vers le bas par la droite ON que nous avons appelée *droite-limite*.

Et si l'on suppose encore que toutes ces *aires-limite* du joint indéfini OX sont reportées à la clef, on voit que leurs transformées se recouvrent successivement et ont pour enveloppe une surface indéfinie vers le haut, limitée inférieurement par la courbe lieu géométrique des *pointes*, telles que C', E', etc.

Or cette courbe des pointes n'est autre que la courbe N'A'O''' que nous avons appelée précédemment *courbe conjuguée* à la clef de la *droite-limite* ON.

Réciproquement, si l'on considérait à la clef toutes les aires pos-

sibles, telles que P'3'L', on verrait qu'elles se reportent au joint quelconque OX sous forme d'aires curvilignes partant toutes d'un point P pour aboutir encore en pointe aux différents points de la ligne courbe PM qui n'est autre que la courbe conjuguée de la droite-limite P'M' à la clef.

D'après ces explications, il devient bien facile de voir que les espaces limités par nos courbes conjuguées sont les enveloppes de toutes les surfaces des aires des pressions possibles, réciproques des poussées des *aires-limite;* de même que les *droites-limite* sont les enveloppes des aires-limite.

CHAPITRE II

EXTENSION DE L'EMPLOI DES COURBES-CONJUGUÉES ET DES DROITES-LIMITE A L'ENSEMBLE D'UNE VOÛTE.

---

§ XXI. — *Épaisseur minima définitive pour toute la voûte.*

Jusqu'ici nous n'avons considéré qu'une portion de voûte comprise entre la clef et un joint courant quelconque; et négligeant tous les autres joints de la voûte, nous ne nous sommes occupés que de l'étude des effets réciproques des poussées de la clef sur les pressions du joint considéré, et ensuite des effets des pressions du joint sur les poussées de la clef. De nos recherches nous avons conclu une méthode de détermination directe de l'épaisseur minima qu'il conviendrait d'attribuer à la clef, si elle n'avait à résister qu'aux réactions qui lui viendraient *du seul joint* considéré.

Mais la clef n'a pas à satisfaire seulement aux conditions de fatigue qui lui reviennent des pressions d'un seul joint; elle doit être déterminée de façon à résister aux réactions qui lui viennent de *tous* les joints.

Il nous faut donc maintenant, poursuivant notre étude, appliquer les résultats acquis à chacun des joints, rechercher parmi ceux-ci quel est celui qui impose à la clef sa plus grande fatigue et en déduire la plus petite épaisseur à la clef qui doive être définitivement conservée.

A chacune des portions de voûte successivement comprise entre la clef et les joints courants, correspond une épaisseur minima à la clef, que nos recherches précédentes permettent de déterminer sûrement. Parmi ces épaisseurs minima il faut encore choisir la plus grande, pour être certain de satisfaire à la plus grande fatigue de toute la voûte.

Cette étude va faire l'objet des paragraphes suivants.

§ XXII. — *De la direction des joints théoriques : Elle n'a rien d'absolu.*

On adopte ordinairement comme joints théoriques des joints normaux à l'intrados, comme ceux de l'appareil des pierres.

Mais il n'est pas indispensable que ces joints théoriques soient également espacés sur l'arc d'intrados ni qu'ils soient normaux à cet intrados.

Au lieu de voussoirs de la forme habituelle, nous pourrions tout aussi bien prendre des voussoirs à joints verticaux, par exemple.

En appliquant à ces derniers, sans aucun changement, les constructions de notre théorie, ils fourniraient de la même manière, leurs *droites-limite*, leurs *courbes-conjuguées* et leurs *aires-utiles*.

L'inclinaison des joints sur l'intrados n'intervient nulle part dans nos déductions; elle ne peut donc avoir aucune influence sur nos résultats.

La direction du joint n'est, en définitive, qu'un élément d'épure appelé, comme les inconnues auxiliaires en algèbre, à disparaître de la solution définitive du problème.

Nous ajouterons même que c'est en prenant des joints théoriques *verticaux* que nous avons d'abord effectué nos premières recherches et tracé nos premières épures. La détermination des centres de gravité des voussoirs en est simplifiée et le tracé des *courbes-limite* en devient plus rapide.

Nous pensons cependant qu'il vaut mieux, en général, admettre des joints normaux à l'intrados pour se donner la facilité de déterminer,

en même temps que l'épaisseur à la clef, le joint de rupture ou de plus grande fatigue dans la forme où il se détermine d'habitude.

Les joints théoriques verticaux donneraient bien aussi leur joint de plus grande fatigue, mais il n'aurait pas de rapport aussi direct avec les besoins de la taille des pierres ou de la pose des matériaux que le joint normal à l'intrados, auquel les Ingénieurs sont accoutumés.

§ XXIII. — *Considération de la voûte tout entière.*

Considérons une voûte entière telle que ABCDE (fig. 13, pl. 132); supposons-la décomposée par les joints 1, 2, 3.....8, 9, en un certain nombre de voussoirs, et examinons successivement les conditions de résistance de chacun des solides compris entre la clef et les joints 1, 2, 3.....9. Chacun de ces solides peut être assimilé à une voûte isolée.

Recommençons, pour chacune de ces voûtes, la recherche de l'épaisseur minima à la clef, telle que nous venons de l'indiquer.

Il faut, pour cela, tracer d'abord les *droites-limite* AF, 1F′, 2F″... etc., pour chaque joint, et ensuite reporter à la clef les *courbes-conjuguées* de chacune de ces *droites-limite.*

Le joint 1-1, qui délimite, avec la clef, la portion de voûte A-1-1-E, fournira la courbe conjuguée 1′-1′.

La rencontre de cette courbe avec la *droite-limite* AF fournira le point α, qui déterminera la *poussée unique* $\alpha\beta$;

Celle-ci déterminera à son tour l'épaisseur minima à la clef 2 Aβ qui conviendrait à la portion de voûte A-1-1-E.

De même, le joint 2-2 qui délimite la portion de voûte A-2-2-E fournira à la clef sa *courbe-conjuguée* 2′-2′ (déduite de la *droite-limite* 2F″) qui à son tour nous donnera par son intersection avec la droite-limite de clef le point γ et la poussée unique $\gamma\delta$; d'où nous déduirons que l'épaisseur minima à la clef qui conviendrait à la portion de voûte A-2-2-E serait égale à 2Aδ. Il faut remarquer que la courbe conjuguée 2′-2′ coupe la *droite-limite* AF *à gauche* et *au delà* de la courbe conjuguée 1′-1′, par rapport à la clef.

En continuant ainsi, chaque portion de voûte A-3-3-E, A-4-4-E, etc., fournira successivement sa *courbe-conjuguée* 3′-3′, 4′-4′, etc., etc., et on constatera, ceci est important, que les intersections de ces *courbes-conjuguées* avec la droite-limite AF (à la clef) vont toujours en recu-

lant de plus en plus vers la gauche (selon le sens que nous avons donné à notre épure), c'est-à-dire en s'éloignant du joint de clef, à mesure que le joint qui les fournit s'éloigne aussi de la clef.

§ XXIV. — *Joints rétrogrades.*

Cependant il se trouvera bientôt un certain joint que nous supposons être ici le joint 4-4 (fig. 13, pl. 132) à partir duquel les intersections des *courbes-conjuguées* avec la *droite-limite* AF au lieu de continuer à s'éloigner du joint de clef (vers la gauche dans la figure 13), rétrograderont vers la clef, comme nous l'indiquons en ponctué pour les courbes 5'-5', 6'-6'....., etc.

A partir de ce joint particulier 4-4, les épaisseurs à la clef qui conviendraient aux voûtes partielles ultérieures, telles que A-5-5-E, A-6-6-E, etc., etc., seraient donc plus petites que l'épaisseur minima nécessaire à la portion de voûte A-4-4-E.

Le point d'intersection O' qui est, de tous ses congénères, le *plus éloigné* du joint de clef et le *plus élevé* par rapport à l'*horizon* est donc celui qui donne l'épaisseur *minima* à la clef, $AX = 2\,AO$, qu'il est nécessaire et suffisant d'admettre pour la *voûte entière* ABCDE.

C'est cette épaisseur qui donne la sécurité limite la plus économique.

§ XXV. — *Joint de plus grande poussée.*

Les constructions du paragraphe précédent font voir que c'est du joint 4-4 (fig. 13) que revient à la clef la plus forte des réactions. L'action que les autres joints courants exercent sur la clef, est toujours moins grande que celle qu'exerce le joint 4-4.

La poussée O'O est la plus grande des poussées minima. C'est elle qu'il faut admettre comme déterminante de la *courbe unique* des pressions de toute la voûte. Une certaine analogie apparaît entre notre joint 4-4, que nous appellerons, d'après sa génération même, *joint de la plus grande poussée*, et le joint de rupture des anciennes théories. — Il faut cependant bien noter une différence : c'est que notre théorie exclut relativement à notre joint de plus grande poussée, toute idée de renversement de la voûte par disjonction ou défaut d'équilibre. Ainsi que nous l'avons fait remarquer à la fin du paragraphe IV, page 138,

notre méthode en envisageant les aires de résistance, satisfait *a fortiori* aux aires d'équilibre ; et lorsqu'elle fournit une longueur de clef ou de joint, on peut être certain que la rupture par disjonction n'est plus à craindre, comme elle aurait pu l'être selon les anciennes idées jusqu'ici attachées à la notion du *joint de rupture*.

§ XXVI. — *Enveloppe des courbes-conjuguées.*

Les courbes-conjuguées à la clef se recoupent successivement et doivent déterminer ainsi une courbe-enveloppe qui rencontre la droite-limite au point O′ (fig. 13, pl. 132). Dans le cas particulier de la loi de Bélanger donnant des *courbes-conjuguées* hyperboliques, il serait possible d'étudier analytiquement cette courbe-enveloppe, et on parviendrait probablement à trouver son équation, qui fournirait alors le moyen de déterminer le point O′ par le tracé d'une seule courbe. (Voir la *remarque* de la page 175.)

Pour deux raisons, nous n'avons point essayé cette recherche analytique.

D'abord, ainsi que nous l'avons déjà dit aux paragraphes II et XII, nous tenons à laisser à notre théorie toute sa généralité et à ne pas l'adapter exclusivement aux conséquences de l'hypothèse admise par la loi du trapèze de Bélanger. Or, si une nouvelle loi de répartition des pressions était admise, les hyperboles des *courbes-conjuguées* de la loi de Bélanger seraient remplacées par des courbes dont nous ne pouvons encore prévoir la nature ; de façon que les résultats du cas particulier que nous aurions considéré, ne nous seraient alors d'aucune utilité réelle.

Notre seconde raison, c'est que nous pensons que notre méthode doit rester essentiellement graphique ; elle garde ainsi sa généralité, puisque les traçés par points permettent toujours d'arriver aux solutions pratiques, et de plus elle reste plus prompte. Les nombreuses applications que nous en avons faites, nous ont prouvé qu'un très petit nombre de points suffit toujours pour trouver les intersections nécessaires α, γ...O′. La loi très simple de la transformation des lignes d'un joint quelconque (droites-limite ou courbes-limite, ou aires des pressions, etc.) en leurs *lignes conjuguées* à la clef, permet de suivre sûrement les modifications des tracés, et de marcher sans tâtonnements,

dans le sens où la petite portion de la courbe dont on a besoin, doit être recherchée.

Ainsi, notamment, avec les hyperboles de la loi de Bélanger, les portions des courbes-conjuguées dont on a besoin à la clef, sont tellement peu courbes aux abords de la *droite-limite* que deux ou trois points sont toujours suffisants pour les déterminer.

Les problèmes géométriques qui viennent se greffer sur notre méthode, présenteraient un grand intérêt s'il était démontré que la loi de répartition de Bélanger est l'expression des vrais phénomènes de la répartition des pressions élémentaires. On pourrait rechercher, par exemple, quelle est la portion de droite-limite qui fournirait la seconde branche de chacune des hyperboles dont nous utilisons seulement, à la clef, la première branche; on pourrait également étudier les déformations que subit une courbe-conjuguée, quand l'angle de sa droite-limite génératrice avec le joint considéré varie de 0 à 90°; chercher aussi quelles sont les intersections de la droite-limite et d'une même hyperbole pour interpréter la solution donnée par le second point d'intersection, etc., etc.

Mais nous considérons ces recherches comme n'offrant aucun intérêt direct à l'application de notre théorie; les courbes-conjuguées hyperboliques qui nous ont servi, faute d'autres, à l'exposé de notre méthode étant probablement appelées à disparaître, quand une loi expérimentale de répartition des pressions aura remplacé l'hypothèse de Bélanger.

§ XXVII. — *Influence de chaque portion de voûte sur l'épaisseur à donner à la clef.*

Notre construction (fig. 13, pl. 132 et fig. 14, pl. 133) donne successivement l'épaisseur à la clef ($2x$, $2y$, etc.) qui serait nécessaire et qui suffirait à chacune des portions de la voûte, telle que A-1-1-E, A-2-2-E, etc.

Elle indique non-seulement quelles seraient les épaisseurs exigées par les réactions de chacun des joints courants, mais elle donne en plus par le rapport des longueurs A β, A δ .... A 0 (fig. 13) la mesure des fatigues que chaque portion de voûte impose à la clef.

Elle met donc graphiquement en évidence le jeu relatif des poussées de clef et des pressions de joints.

L'étude comparative des longueurs x, y, z (fig. 14) peut permettre alors de rechercher les modifications qu'il conviendrait de faire subir aux

données de la voûte pour arriver à resserrer les courbes conjuguées, 2-2, 3-3, 4-4, etc., afin de les rapprocher les unes des autres et d'aboutir ainsi à un projet de voûte dans lequel tous les joints réagiraient sur la clef d'une façon aussi égale que possible.

Si la forme de l'intrados n'était pas impérieusement fixée, on pourrait probablement, sans changer les poids ni les centres de gravité des divers voussoirs, surhausser ou surbaisser la voûte pour faire osciller les *droites-limite* et les resserrer.

Quand la forme de l'intrados devrait être respectée, on arriverait au résultat cherché en reportant une partie de la surcharge sur les voussoirs qui fatiguent le moins la clef; il faudrait seulement avoir soin d'opérer ces variations de charge sans changer le poids et le centre de gravité de la portion de la voûte qui finit au joint de plus grande poussée, afin que la *courbe-conjuguée* de ce joint (à laquelle on veut faire venir les autres courbes-conjuguées) restât à sa position primitive.

C'est ainsi, que dans la fig. 15, pl. 132, nous avons tracé pour une voûte en plein-cintre les courbes-conjuguées numérotées de I à VI qui répondent aux surcharges limitées par la courbe MN. — Et pour nous rendre compte des effets des variations partielles des surcharges, nous avons supposé que la portion de voûte comprise entre la clef et le joint V recevrait en PQ une surcharge PQRS. La verticale du centre de gravité du massif AV qui était primitivement en G_5 s'est déplacée jusqu'en G_5', — et la *courbe-conjuguée* a remonté à la clef de la position V à la position V'.

En surchargeant le voussoir au-dessus du joint VI, nous avons de même obtenu un relèvement de la courbe conjuguée qui a passé de la position VI à la position VI'.

Enfin, en surchargeant le voussoir AI par la masse MTUX nous avons remonté la *courbe-conjuguée* de la position I à la position I'.

Il ne serait donc pas difficile d'arriver par tâtonnements, à modifier la forme des surcharges de manière à égaliser à peu près les épaisseurs de clef nécessaires aux voussoirs successifs d'une même voûte.

Les quelques courbes de la fig. 15, pl. 133 font voir que le profil de surcharge recevrait dans ce cas une modification du genre de celle qui est approximativement indiquée en pointillé dans la fig. 16, pl. 133.

Ce serait quelque chose comme les voûtes casematées du génie avec plus de surcharge aux tympans.

Ces détails, quoique sommairement esquissés, doivent suffire pour

indiquer dans quel sens les recherches de ce genre pourraient être dirigées, et combien elles seraient faciles par la méthode graphique proposée.

§ XXVIII. — *Simplification de la théorie quand il s'agit seulement de trouver le plus rapidement possible l'épaisseur minima de la clef.*

Quand il ne s'agit que de trouver le plus rapidement possible l'épaisseur minima de la clef, il n'est pas nécessaire de tracer les courbes-limite des premiers et des derniers joints de la voûte. Les joints tels que 1-1, 2-2, 3-3 ...... 7-7, 8-8 (fig. 13, pl. 132) sont toujours assez éloignés du *joint de plus grande poussée* pour être négligés.

Il suffit de commencer par se donner deux ou trois joints aux environs de la position présumée du *joint de plus grande poussée* et de leur appliquer notre méthode de la recherche des *courbes-conjuguées*.

A la physionomie, à la position des premières courbes on voit de suite s'il faut chercher le *joint de plus grande poussée au-dessus* des premiers joints choisis ; ou s'il faut au contraire choisir des joints plus bas.

Trois joints conduisent presque toujours à une détermination suffisante du *joint de plus grande poussée.* Il serait du reste superflu de déterminer ce joint avec une précision mathématique, les très faibles variations d'épaisseur de la clef devant résulter de cet accroissement de précision restant sans intérêt en pratique.

§ XXIX. — *Cas des voûtes en arc de cercle.*

Dans les voûtes en arc de cercle aux surbaissements ordinaires, le joint de plus grande poussée est aux naissances. Il suffit donc de tracer la *droite-limite* de ce joint des naissances, et de reporter sa *courbe-conjuguée* à la clef pour avoir immédiatement l'épaisseur minima de la clef.

L'épure se fait avec une extrême rapidité. C'est seulement au cas où

l'arc de cercle d'intrados se rapprocherait du plein-cintre qu'il deviendrait utile de procéder d'abord à la recherche du joint de plus grande poussée pour bien s'assurer qu'il diffère du joint des naissances.

§ XXX. — *De l'étude d'une voûte dans laquelle on voudrait répartir des matériaux de résistances diverses.*

Si l'on voulait employer simultanément dans une arche de très grande portée des matériaux de résistances diverses, il suffirait de donner à la *droite-limite* de chaque joint une inclinaison fonction des diverses résistances R′, R″, R‴ que l'on ne voudrait pas dépasser en chacun de ces joints. Les *droites-limite* F′ — F″ — F‴ — etc... ne seraient donc plus toutes également inclinées sur leurs joints respectifs (fig. 13, pl. 132).

Les *courbes-conjuguées* produites à la clef par ces *droites-limite* traduiraient, chacune en ce qui la concerne, l'influence de la résistance R′, ou R″, ou R‴, etc., des matériaux des joints correspondants, et l'épaisseur minima à la clef s'en trouverait conséquemment déduite.

L'épaisseur en chacun des joints courants se déterminerait en reportant sur ce joint la *courbe-conjuguée* de la *droite-limite* de clef.

TRACÉ DE L'EXTRADOS.

Dans ce qui précède nous avons déterminé (fig. 17, pl. 133) :

L'épaisseur minima de la clef AX ;
La poussée unique OO′;
Le joint de plus grande poussée TV
Et la courbe unique des pressions, O *b c d* U etc. ;

Il ne reste qu'à profiler l'extrados :

§ XXXI. — *Premier moyen de tracer l'extrados.*

Quand les surcharges seront régulièrement réparties, les praticiens déjà familiarisés avec les formes courantes des extrados se contente-

ront probablement d'un tracé au sentiment ; ils auront comme guides les points X et V, fig. 17, par lesquels doit passer l'extrados, et de plus la courbe des pressions. Malgré son apparente indétermination relative, ce procédé n'est cependant pas dépourvu d'une certaine précision pratique qu'il emprunte aux résultats sur lesquels il peut s'appuyer.

§ XXXII. — *Deuxième moyen de tracer l'extrados.*

On pourra procéder avec plus de sûreté si l'on se donne la condition que la courbe unique des pressions engendrée par la poussée $0\,0'$ doit passer au milieu de l'épaisseur de la voûte.

Nous savons que la pression par unité de surface à la clef et au joint de plus grande poussée est juste égale à R kilos tandis qu'en tout autre point elle est moindre.

Si donc nous portons (fig. 17, pl. 133) :

$$b\,h = 1\,b$$
$$c\,j = 2\,c$$
$$d\,k = 3\,d$$
$$\dots\dots\dots$$
$$\text{etc.} \dots$$

Les points $h, j, k, \dots$ ainsi déterminés supporteront par unité de surface des pressions égales à celles des points homologues 1 — 2 — 3 . . . . . . etc. . . . et par conséquent inférieures à R kilos. Ils sont donc admissibles pour l'extrados.

§ XXXIII. — *Troisième moyen de tracer l'extrados ; Cube minimum de la voûte.*

La courbe unique des pressions, qui fournit les points b, c, d, donne en même temps les résultantes totales des pressions sur chaque joint.

Soit donc (fig. 18, pl. 133) b le point d'application d'une résultante bP sur un joint quelconque où l'on se propose de limiter l'extrados, et soit bQ la composante normale de bP.

Nous savons que pour tout joint autre que le joint de plus grande poussée, la pression à l'intrados, au point m est moindre que la limite

R; nous pouvons donc nous proposer de déterminer le point h par la condition que la pression, par unité de surface en ce point, soit égale à R; la solution nous donnera la plus petite longueur bh que l'on pourra appliquer au restant du joint considéré, la portion mb étant déjà invariablement acquise par le tracé même de la courbe des pressions.

Si, dans la formule qui traduit la loi de Bélanger,

$$R = \frac{2P}{\Omega}\left(2 - \frac{3a}{l}\right),$$

nous faisons :

$$l = x$$
$$bQ = P$$
$$mb = c$$
$$a = x - c.$$
$$\Omega = 100.\ x.$$

Nous aurons :

$$R = \frac{2P}{100\,x}\left[2 - \frac{3(x-c)}{x}\right],$$

formule qui résolue par rapport à x nous donne :

$$x = -\frac{P}{100R} \pm \sqrt{\frac{P^2}{10{,}000R^2} + \frac{6Pc}{100R}}$$

ou plus simplement en désignant la constante $\frac{P}{100\,R}$ par C :

$$x = -C \pm \sqrt{C^2 + 6cC.}$$

Cette relation, appliquée à chacun des joints courants, fournit la longueur inconnue de ce joint et délimite le profil de l'extrados cherché.

Les points p, q, r, etc. (fig. 17, pl. 133) de ce dernier tracé se trouvent au-dessous des points h, j, k, etc., fournis par le tracé précédent; les points V et X restant seuls communs aux deux tracés.

Ce dernier profil est le plus économique; sa courbe est plus bombée vers le point V, dans le joint de plus grande poussée, que celle du deuxième tracé. La matière se trouve reportée vers l'endroit de plus grande fatigue; la théorie est d'accord avec le sentiment.

§ XXXIV. — *Résumé des propriétés du profil de voûte ainsi déterminé.*

Le profil de voûte déduit de toutes les conditions qui précèdent jouit des propriétés suivantes :

1° Il n'admet qu'une courbe des pressions ;

2° La pression par unité de surface sur le joint de clef et sur le joint de plus grande poussée est juste égale à la limite R de la résistance des matériaux imposés ; la pression totale sur ces deux joints est uniformément répartie ;

3° Tous les points de l'extrados travaillent à la pression limite R par unité de surface ;

4° L'épaisseur à la clef est déterminée directement en fonctions de toutes les données variables de la voûte ; elle est un minimum ;

5° Le travail de l'intrados, à la clef et au joint de *plus grande poussée* est égal à la limite R. En tous les autres points de l'intrados, ce travail est moindre ; et s'il en est ainsi, c'est parce que la forme de l'intrados nous est imposée.

Si cette forme était laissée en partie à notre disposition, même avec une ouverture et une montée déterminées, nous pourrions arriver, comme M. Yvon-Villarceau dans sa remarquable théorie, à faire travailler tous les points de l'intrados à la limite de R kilos :

Il suffirait pour cela que l'on pût nous accorder la faculté de refouiller l'intrados sur les voussoirs où le travail n'atteint pas R kilos afin d'élever convenablement le coefficient de travail dans ces voussoirs.

§ XXXV. — *Existe-t-il une forme type d'intrados jouissant du maximum de stabilité?*

La forme de l'intrados n'est certainement pas indifférente par rapport aux charges que la voûte doit porter :

Pour une certaine répartition des surcharges, il existe une forme réciproque d'intrados qui présenterait le maximum d'avantages tant

au point de vue de la résistance qu'au point de vue de l'économie des matériaux : M. Dejardin a en effet démontré dans sa *Routine de l'établissement des voûtes* que, lorsqu'il s'agit d'un *arc homogène* en équilibre :

1° La courbe d'équilibre est un cercle quand les forces appliquées sont normales à l'arc et ont une intensité constante ;

2° Quand les forces normales à l'arc ont une intensité variable, le rayon de courbure est réciproque à l'intensité de l'action normale ; de sorte que si l'on pouvait admettre que les actions qui agissent sur une voûte sont *normales* à l'intrados, la courbe d'intrados devrait être une *courbe surbaissée* quand l'action croîtrait du sommet vers les naissances ; et c'est précisément le cas des voûtes dont la surcharge est arrasée horizontalement et dans lesquelles les reins sont plus chargés que le sommet.

M. Drouets (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1865, mars et avril) a examiné aussi s'il n'existe pas de forme type de pont jouissant du maximum de stabilité. Il affirme que non, et rappelle que M. Yvon-Villarceau et M. Denfert-Rochereau ne sont arrivés à des formes type qu'en renonçant à une ou plusieurs des conditions du maximum de stabilité.

M. Yvon-Villarceau, se donnant l'ouverture et la montée de l'arche, garde comme inconnue la forme du profil d'intrados, et admettant que les efforts exercés par le massif de remplissage et par la surcharge se transmettent *normalement à l'extrados* (hypothèse analogue à celle de l'action des fluides), il démontre que dans ces conditions l'épaisseur de la voûte devrait être constante ; son équation de l'intrados fournit une courbe qui s'approche beaucoup d'une ellipse qui serait surbaissée entre un tiers et un quart.

Nous croyons que si le problème posé ne fixait que l'ouverture, la surcharge, et la résistance maxima de la voûte sans imposer préalablement sa montée et sa forme d'intrados, il deviendrait possible de tracer un profil d'intrados qui dans chaque cas déterminé remplirait les meilleures conditions d'économie des matériaux et de répartition des forces.

Chaque problème de voûte nettement déterminé doit avoir son profil, et n'en avoir qu'un.

Les indications que nous avons déjà présentées à ce sujet au para-

graphe XXVII, page 158, fournissent un moyen d'approcher de ce profil par le resserrement successif des courbes-conjuguées.

Ce problème ne peut se résoudre que par la méthode des approximations successives puisqu'il se présente encore, comme le problème général des voûtes dont il dérive, sous la forme de règle de fausse position.

La solution indiquée le résoudrait avec une précision suffisante pour une bonne économie pratique.

§ XXXVI. — *Apparition d'une solution négative révélant une impossibilité dans les surcharges.*

Lorsque les surcharges données sont trop fortes pour la voûte étudiée, l'impossibilité se révèle par l'apparition d'une solution négative, On trouve alors que l'épaisseur à la clef devrait être plus forte que l'épaisseur totale du massif, et que c'est une *surcharge négative* qu'il faudrait lui appliquer : c'est-à-dire qu'il faudrait *réduire* le massif de l'épaisseur indiquée par la solution négative.

Nous allons donner un exemple de ce cas particulier au paragraphe XXXIX, page 176, en rapportant l'étude que nous avons faite par notre théorie, de la grande voûte de $60^{m},07$ citée et calculée par M. Yvon-Villarceau dans son mémoire à l'Académie.

§ XXXVII. — *Résumé des opérations de l'application de la théorie proposée.*

Les opérations à effectuer pour appliquer la théorie proposée peuvent se résumer très succinctement comme suit :

Établir l'épure de l'intrados choisi ou imposé.

Dessiner le massif des charges permanentes et des surcharges ramenées à la densité de la maçonnerie de la voûte, les épaisseurs étant inversement proportionnelles aux densités.

(*Nota.* — Ces opérations préalables sont nécessaires dans toutes les méthodes, et ne sont point particulières à la nôtre.)

Tracer ensuite deux ou trois joints de recherche vers les reins de la

voûte, aux environs de la position présumée du joint de *plus grande poussée.*

Sur ces joints et à l'intrados, tracer les *droites-limite* de chacun d'eux.

Reporter ces *droites-limite* à la clef pour déterminer leurs *courbes-conjuguées* aux abords de la *droite-limite* de clef seulement.

Les intersections de ces *courbes-conjuguées* avec la *droite-limite* à la clef donnent les épaisseurs minima de voûte à la clef correspondant à chacun des voussoirs considérés.

Le joint qui donne la plus grande des épaisseurs *minima* à la clef est le joint de plus *grande poussée.*

L'épaisseur à la clef qui lui correspond, est la plus petite épaisseur possible ; c'est celle qui résoud la question.

Tracer ensuite la poussée à la clef qui répond à cette épaisseur.

Déterminer la courbe des pressions qu'elle engendre ; c'est la *courbe unique* des pressions cherchée.

Achever enfin le profil d'extrados par un des procédés que nous avons indiqués.

Quand il s'agit d'une voûte en arc de cercle dont l'angle total au centre est inférieur à 100°, le joint de *plus grande poussée* se trouve aux naissances, et la méthode fournit une solution immédiate et simple : il suffit de tracer la *droite-limite* au joint de naissance et de la reporter en *courbe-conjuguée* à la clef, pour avoir d'un seul coup l'épaisseur minima à la clef.

§ XXXVIII. — *Détermination de l'équation et des propriétés de la courbe-conjuguée engendrée par une droite-limite.*

(Nous devons à M. Guévara la note suivante, qu'il nous a fournie quand il était encore élève à l'École Centrale.)

Prenons comme axe des x l'axe de symétrie de la section transversale de la voûte, comme axe des y la tangente à l'intrados à la clef, c'est-à-dire une horizontale.

Nous prendrons le cas général où l'intrados est quelconque, bien que symétrique.

Désignons alors, fig. 19, pl. 134, par :

ρ le rayon O α, O étant sur le joint A B prolongé

y la valeur de la poussée à la clef.

x l'abscisse de la poussée à la clef.

Les coordonnées x et y déterminent alors l'extrémité de cette poussée, et si la poussée est considérée comme variable de grandeur et de position, les coordonnées x et y déterminent une courbe.

Considérons un joint quelconque de la voûte défini par l'angle α qu'il fait avec le joint de la clef et désignons encore par :

R la distance O A,

p le poids du tronçon de maçonnerie $\alpha\beta'$B$'$BA.

Le point B n'est pas connu exactement, mais on peut connaître p d'une façon suffisamment exacte soit en prenant un extrados approché, soit en considérant simplement des joints verticaux :

Ce dernier moyen est le plus pratique.

Soit $ab = \mathrm{Y}$ la distance du centre de gravité du tronçon de voûte compris entre les deux joints considérés, à l'axe des y.

Enfin prenons pour inconnue auxiliaire la distance OM que nous désignerons par l; M étant le centre de poussée du joint AB.

La poussée inconnue agissant en M peut se décomposer en deux; l'une verticale et l'autre horizontale; mais puisque le tronçon se maintient en équilibre ces composantes doivent être respectivement égales à p et à y.

On obtient une première équation en écrivant que ces deux couples s'équilibrent :

$$a\mu \times y = \mathrm{M}b \times p,$$

$$(\rho + x - l \cos. \alpha)\, y = (l \sin \alpha - \mathrm{Y})\, p,$$

$$(\rho + x)\, y + p\,\mathrm{Y} = l\,(p \sin \alpha + y \cos \alpha),$$

$$l = \frac{(\rho + x)\, y + p\,\mathrm{Y}}{p \sin \alpha + y \cos \alpha}.$$

Mais AM = OM — OA; donc :

$$\mathrm{AM} = \frac{(\rho + x)\, y + p\,\mathrm{Y} - \mathrm{R}\,(p \sin \alpha + y \cos \alpha)}{p \sin \alpha + y \cos \alpha} \qquad (1).$$

On obtient une deuxième équation entre AM, x, y en projetant les deux composantes sur la normale au joint en M et en écrivant que la somme des projections donne une des pressions définies par la *droite-*

limite du joint AB. Soit m le coefficient angulaire de cette droite, alors on a :

$$p \sin a + y \cos \alpha = m \times MA. \qquad (2).$$

En éliminant MA entre (1) et (2) on obtient une relation entre x et y, c'est-à-dire le lieu des extrémités des poussées à la clef compatibles avec la résistance du joint AB. On obtient ainsi :

$$p \sin \alpha + y \cos \alpha = m \times \frac{(\rho + x)\, y + p\mathrm{Y} - \mathrm{R}\,(p \sin \alpha + y \cos \alpha)}{p \sin \alpha + y \cos \alpha},$$

ou, en chassant le dénominateur

$$(p \sin \alpha + y \cos \alpha)^2 + m.\mathrm{R}\,(p \sin \alpha + y \cos \alpha) -$$
$$- m\,[(\rho + x)y + p\mathrm{Y}] = o :$$

C'est l'équation cherchée.

La forme de cette équation nous fournit des renseignements intéressants. C'est une conique passant par le point défini par les conditions :

$$p \sin \alpha + y \cos \alpha = o \qquad (\rho + x)\, y + p\,\mathrm{Y} = o$$

ou

$$y = -p tg\, \alpha \qquad (\rho + x) = \mathrm{Y}\, cotg\, \alpha.$$

Ce point se construit facilement au moyen des lignes de la figure. C'est le point N de la figure 19.

La façon de le construire dépend essentiellement de la position du point O de rencontre des deux joints considérés, et il est à remarquer que dans le cas d'un intrados circulaire le point O est fixe.

Reprenons l'équation et ordonnons par rapport à y et à x :

$$o = y^2 \cos^2 \alpha - mxy + y\,(p \sin 2\,\alpha + m\mathrm{R} \cos \alpha - m\,\rho) +$$
$$+ m\,\rho \sin \alpha \left(\mathrm{R} + \frac{p \sin \alpha}{m} - \frac{\mathrm{Y}}{\sin \alpha}\right)$$

ou bien :

$$o = \frac{\cos^2 \alpha}{m}\, y^2 - xy + y\left(\frac{p \sin 2\,\alpha}{m} + \mathrm{R} \cos \alpha - \rho\right) +$$

$$+ p \sin \alpha \left(\mathrm{R} + \frac{p \sin \alpha}{m} - \frac{\mathrm{Y}}{\sin \alpha}\right).$$

Sous cette forme on voit que la conique est une hyperbole ayant pour asymptote la verticale du joint de clef (axe des x).

Le coefficient augulaire de la deuxième asymptote étant donné par :

$$\frac{\cos^2 \alpha}{m} y - x = o,$$

ou

$$\frac{y}{x} = \frac{m}{\cos^2 \alpha},$$

l'angle correspondant à cette tangente se construit très facilement au moyen de la *droite-limite* et de l'angle α du joint considéré.

Pour déterminer complètement l'hyperbole il suffirait d'en déterminer le centre, ce qui se fait en égalant à zéro les deux dérivées partielles ; mais cela ne conduit pas à un résultat graphique simple.

En résumé, la question est résolue théoriquement :

La *courbe-conjuguée* d'une *droite-limite* est une hyperbole que l'on pourrait construire avec plus ou moins de difficultés.

§ XXXVIII bis. — Remarques analytiques de M. Fouret.

I. *Corrélation entre les divers points d'une droite-limite et les points correspondants de la courbe-conjuguée.*

Conservons les notations et la figure du paragraphe précédent, et posons seulement AM $= z$.

Les équations (1) et (2), pages 168 et 169, peuvent alors s'écrire :

(1) $(\rho + x) y + p \mathrm{Y} - \mathrm{R} (p \sin \alpha + y \cos \alpha) = z (p \sin \alpha + y \cos \alpha).$

(2) $p \sin \alpha + y \cos \alpha = \mathrm{m} z.$

A l'aide de ces deux équations, nous pouvons exprimer x et y en fonction de z. De la dernière équation on tire immédiatement :

(3) $$y = \frac{mz - p \sin \alpha}{\cos \alpha}.$$

En substituant cette valeur de y dans l'équation (1) et tenant compte de l'équation (2), on obtient :

$$(\rho + x)(m z - p \sin \alpha) + p \mathrm{Y} \cos \alpha - \mathrm{R} mz \cos \alpha = mz^2 \cos \alpha,$$

D'où l'on tire, en résolvant par rapport à x :

(4) $$x = \frac{m \cos \alpha . z^2 - m(\rho - \mathrm{R} \cos \alpha) z + p (\rho \sin \alpha - \mathrm{Y} \cos \alpha)}{mz - p \sin \alpha}.$$

Les expressions (3) et (4) des coordonnées d'un point quelconque de la *courbe-conjuguée* en fonction de z sont très commodes : elles permettent de se rendre compte des relations de position qui existent entre les divers points de la *droite-limite* du joint AB et les points correspondants de la courbe conjuguée :

On voit d'abord immédiatement que pour $z = \frac{p \sin \alpha}{m}$,

on a $$x = \pm \infty, \quad y = o.$$

Cette valeur de z détermine le point de la droite-limite AL auquel correspond le point de la courbe conjuguée situé à l'infini dans la direction de l'axe de la voûte αx.

Pour obtenir ce point de la droite-limite, il suffit (fig. 19, pl. 134) de prendre une longueur verticale AE égale à p, poids du tronçon de voûte AB$\alpha\beta$, et de mener par le point E obtenu une parallèle à AB : le point d'intersection F de cette parallèle avec AL est le point cherché. En effet, abaissons FM perpendiculaire sur AB, et AK perpendiculaire sur EF, on a :

$$\text{MF} = \text{AM tg. FAM} = zm$$
$$\text{AK} = \text{AE. sin AEK} = p \sin \alpha.$$

D'où, à cause de MF = AK

$$z = \frac{p \sin \alpha}{m}.$$

F est donc bien le point de la droite-limite qu'il s'agissait de construire.

Ce point étant construit, il est facile de voir comment l'hyperbole se trouve engendrée par les divers points de la droite-limite. Supposons un point mobile sur la droite limite, partant de F et se mouvant dans la direction FL. La valeur de z est alors positive et constamment croissante ; la valeur de y déduite de (3), d'abord nulle, reste positive et croît constamment avec z ; par suite, on engendre la branche supérieure, c'est-à-dire la branche *utile* de l'hyperbole ; on l'obtient d'ailleurs tout entière, puisque pour $z = +\infty$, on a aussi

$$y = +\infty.$$

Si maintenant au lieu de faire mouvoir le point mobile sur la droite-limite dans le sens FL, nous le déplaçons dans le sens opposé à partir du point F, la valeur correspondante de y devient négative : d'abord

infiniment petite en valeur absolue, elle tend vers $-\infty$ en même temps que z. On obtient ainsi la seconde branche, la branche *parasite* de la courbe conjuguée.

On peut remarquer en outre que pour $z = o$,

on a $y = -p tg \alpha$, $x = -\rho + \dot{Y} \cot. \alpha$.

Ces coordonnées sont celles du point N déjà construit par M. Guévara. Ce point N de la courbe conjuguée correspond, comme on le voit, au point A de la droite-limite : il a une importance toute spéciale provenant de ce qu'il est indépendant de l'inclinaison de la droite-limite AL, et de ce qu'il subsisterait sans changement si la droite-limite était remplacée par une courbe quelconque passant par le point A.

II. — *Relations entre le coefficient angulaire de la droite-limite et la forme de l'hyperbole conjuguée.*

L'équation de la courbe conjuguée peut s'écrire :

(5) $$m\left[xy + (\rho - R\cos\alpha)\,y - p\,(R\sin\alpha - Y)\right] - \\ - (y\cos\alpha + p\sin\alpha)^2 = o.$$

La forme même de cette équation montre immédiatement que quand on fait varier m, on obtient une série d'hyperboles formant un *faisceau*. Pour $m = \infty$, c'est-à-dire dans le cas où la droite-limite est perpendiculaire au joint, la courbe-conjuguée a pour équation :

$$xy + (\rho - R\cos\alpha)\,y - p\,(R\sin\alpha - Y) = o.$$

C'est alors une hyperbole équilatère, dont les deux asymptotes sont l'axe de la voûte $y = o$, et la droite

$$x = -\rho + R\cos\alpha$$

c'est-à-dire l'horizontale passant par le point A.

Quand m diminue en restant positif, l'angle des deux asymptotes qui contient la courbe se ferme de plus en plus : cela résulte de ce que la tangente de cet angle est égale à $\frac{m}{\cos^2\alpha}$. D'autre part, le point d'in-

tersection des deux asymptotes, autrement dit, le centre de la courbe s'élève de plus en plus, car l'abscisse de ce point est :

$$x = -\rho + R\cos\alpha + \frac{2p\sin\alpha}{m},$$

et on voit qu'elle augmente constamment et au delà de toute limite, lorsque m décroît et tend vers zéro. Enfin, pour $m = o$, l'équation (5) se réduit à :

$$(y\cos\alpha + p\sin\alpha)^2 = o.$$

L'hyperbole est alors réduite à une droite double qui coïncide avec la parallèle à l'axe de la voûte menée par le point N précédemment trouvé.

On reconnaît sans peine que si m continue à décroître de o à $-\infty$, l'angle des deux asymptotes s'ouvre de nouveau dans l'autre sens, pendant que le centre venant de l'infini du côté des y négatifs remonte constamment jusqu'à atteindre l'horizontale du point A.

Les diverses hyperboles que l'on obtient en faisant varier m, sont toutes asymptotes à l'axe de la voûte, comme on l'a déjà remarqué : mais il est aisé de voir en outre qu'elles sont tangentes entre elles au point N. Cette dernière propriété résulte immédiatement de la forme de l'équation (5) qui montre que toutes ces courbes sont bitangentes en deux points de la droite :

$$y\cos\alpha + p\sin\alpha = o.$$

L'un de ces points est à l'infini sur la verticale : le second est le point N déjà construit.

La tangente commune en N est facile à obtenir : il suffit pour cela de remarquer que cette tangente et l'axe de la voûte $y = o$ constituent dans leur ensemble une des hyperboles définies par l'équation (5). En faisant dans cette équation :

$$m = -\frac{p\sin^2\alpha}{R\sin\alpha - Y},$$

y apparaît comme facteur dans le premier membre. En le supprimant, il reste :

$$p\sin^2\alpha . x + (R\sin\alpha - Y)\cos^2\alpha . y +$$
$$+ p\sin\alpha(\rho\sin\alpha + R\sin\alpha\cos\alpha - 2Y\cos\alpha) = o.$$

C'est l'équation de la tangente commune en N. Pour construire cette

tangente, il suffit d'avoir le point T où elle coupe l'axe de la voûte. L'abscisse de ce point s'obtient en faisant $y = o$ dans la dernière équation ; c'est par suite :

$$x = -(\rho + R \cos \alpha - 2 Y \cot. \alpha).$$

En interprétant cette expression sur la figure, on arrive à trouver assez facilement que le point T s'obtient en prolongeant le segment AC d'une longueur CD égale à lui-même, et en projetant le point D sur l'axe de la voûte. La projection est le point T cherché : TN est par suite la tangente au point N.

Il résulte encore de ce qui précède, en vertu d'une propriété bien connue de l'hyperbole, que si on prolonge TN d'une longueur égale à elle-même, on obtient un point I qui appartient à la seconde asymptote. On aura par suite cette seconde asymptote elle-même, en menant par le point I une droite qui fasse avec l'axe de la voûte un angle dont la tangente soit égale à $\frac{m}{\cos^2 \alpha}$. (1)

Connaissant pour chaque hyperbole ses deux asymptotes et un point, il serait facile d'en déduire tous les éléments de la courbe, et en particulier de construire cette courbe point par point, en s'appuyant sur une propriété bien connue, consistant en ce que *les segments d'une sécante quelconque compris entre une hyperbole et ses deux asymptotes sont égaux.*

III. — *Ce que seraient les courbes-conjuguées, si les droites-limite étaient remplacées par des courbes-limite.*

Ainsi qu'on l'a fait remarquer au § IX, la méthode imaginée serait encore applicable dans le cas où la loi de répartition des pressions de Bélanger ferait place à une autre loi : seulement il pourrait arriver que la *droite-limite* fût alors remplacée par une *courbe-limite* C.

On peut se demander d'une manière générale de quel degré serait la conjuguée de chaque courbe-limite, en supposant que n fût le degré

1. Pour construire un angle $\beta\alpha\varepsilon$ dont la tangente soit $\frac{m}{\cos^2 \alpha}$, il suffit d'élever $\beta\gamma$ perpendiculaire sur $\alpha\beta$, jusqu'à la rencontre de la droite-limite à la clé, puis $\gamma\delta$ perpendiculaire sur $\beta\gamma$ jusqu'à l'intersection de la droite $\beta\delta$ faisant avec $\beta\gamma$ un angle égal à α, enfin de mener $\delta\varepsilon$ perpendiculaire à $\beta\delta$ jusqu'à la rencontre ε de $\beta\gamma$ prolongé. La droite $\alpha\varepsilon$ est parallèle à la direction de la seconde asymptote.

de cette dernière. Il est facile de démontrer que la courbe-conjuguée serait de degré $2n$.

Pour cela, il suffit d'établir qu'une droite quelconque couperait cette conjuguée en $2n$ points. Considérons, par exemple, une droite D passant par le sommet A de l'intrados. Il résulte d'une remarque précédente, que cette droite D peut être envisagée comme la courbe-conjuguée d'une certaine hyperbole. Cette hyperbole, en vertu du théorème de Bezout, coupe la courbe C en $2n$ points, et ces $2n$ points sont précisément les points de la courbe C qui correspondent à des points de sa conjuguée situés sur la droite D. Cette conjuguée est donc bien de degré $2n$.

Remarque. — L'équation de l'hyperbole conjuguée d'une droite-limite déterminée contient, outre le coefficient angulaire m de cette droite-limite, cinq paramètres ρ, R, p, Y et α. En supposant donnés le profil de l'intrados et les conditions de surcharge de la voûte, on peut considérer ρ, R, p, Y comme des fonctions déterminées de α. On conçoit que pour chaque type de voûte (arc de cercle, ellipse, etc.), on pourrait trouver, avec une approximation suffisante, les expressions analytiques de R, p, Y, en fonction de α. Au lieu de construire l'hyperbole conjuguée de la droite-limite de chaque joint, et de prendre son intersection avec la droite-limite à la clé, il n'y aurait qu'à calculer l'x du point de rencontre dont on a besoin, lequel serait donné par la plus grande des racines d'une équation du second degré qu'on formerait immédiatement, en remplaçant dans l'équation de l'hyperbole y par mx. On pourrait ensuite déterminer l'inclinaison α du joint de plus grande fatigue, par la condition que l'expression de x ainsi trouvée fût un mininum. On connaîtrait alors le point de passage à la clé de la courbe des pressions correspondant à la solution la plus économique.

Mais nous ne pouvons que tracer ici la marche qu'il faudrait suivre pour résoudre analytiquement ce problème, déjà résolu graphiquement et complètement par la méthode qui fait l'objet du présent mémoire ; le développement des calculs dépasserait les limites que comporte cette simple note.

CHAPITRE III

EXEMPLES ET RÉSULTATS DE L'APPLICATION DE LA THÉORIE PROPOSÉE.

---

§ XXXIX. — *Projet d'arche surbaissée en anse de panier de 60m,07 d'ouverture. — Apparition d'une solution négative révélant une impossibilité. — Son interprétation.*

M. Yvon-Villarceau a étudié, comme application de sa théorie, un projet d'arche en anse de panier de $60^m,07$ d'ouverture et de $16^m,23$ de montée; il a trouvé que, pour supporter une charge de route ordinaire, et en appareillant la voûte avec des pierres travaillant à $27^k,4$ par centimètre carré, il faudrait que l'épaisseur à la clef fût de 1^m856.

Nous avons entièrement refait le même projet par notre méthode et nous avons reconnu que :

1° Avec des matériaux travaillant à $27^k,4$, comme ceux de M. Yvon-Villarceau, il suffirait que l'épaisseur à la clef fût de $1^m,710$; ce chiffre, inférieur de 0^m146 à celui de M. Yvon-Villarceau, se conçoit aisément; l'emploi répété que cet éminent savant fait de l'algèbre transcendante, le conduit à substituer souvent des résolutions par approximation aux solutions rigoureuses; il n'est pas surprenant que les *a fortiori* auxquels il a successivement recours afin de rendre sa théorie facilement praticable lui donnent des épaisseurs un peu plus fortes que les nôtres, qui sont exemptes de ce genre d'incertitude.

2° Cette même voûte, étudiée par notre méthode pour être construite avec des matériaux qui ne pourraient supporter que 20 kil. devrait avoir une épaisseur de $2^m,15$ à la clef.

3° Enfin si la limite de résistance des matériaux n'était plus que de 15 kilogrammes, notre théorie indique qu'une épaisseur de 2^m98 deviendrait indispensable à la clef. Ce dernier résultat révèle une impossibilité parce que la hauteur donnée du massif entre l'intrados et la

limite supérieure des surcharges n'est que de $2^m,32$; c'est donc une *surcharge négative* qu'il faudrait introduire ; c'est-à-dire que l'on devrait diminuer de $0^m,46$ l'épaisseur de la surcharge si l'on voulait réaliser un pont d'aussi grandes dimensions avec des matériaux relativement aussi peu résistants.

Cette apparition d'une solution négative révélant une incompatibilité dans les données de la question n'est peut-être pas un des points les moins intéressants de la nouvelle théorie : non-seulement l'impossibilité est révélée, mais encore avec elle la grandeur relative de la correction à effectuer.

Nous avons déjà dit un mot de cette solution négative à notre paragraphe XXXVI ci-dessus, page 166.

§ XL. — *Projet d'un pont en arc de cercle surbaissé au 1/18e pour la traversée de l'écluse de la Monnaie, à Paris.*

Le pont qui doit traverser la Seine, à Paris, pour le prolongement de la rue de Rennes franchirait l'écluse de la Monnaie par une seule arche très surbaissée, dont le projet est établi sur les bases suivantes :

Ouverture.	$37^m,886$
Flèche.	$2^m,125$
Épaisseur à la clef.	$0^m,800$
— aux naissances.	$1^m,100$

Les ingénieurs du service municipal de Paris n'ont pas cru devoir proposer une voûte aussi hardie sans en avoir vérifié expérimentalement la stabilité.

Ils ont donc fait construire, dans les carrières de Souppes, une arche de 4 mètres de longueur de douelle entre les têtes et de $37^m,886$ de portée, et dont le profil était exactement celui du projet; les matériaux provenant de la carrière de Souppes ont été taillés et posés avec un soin extrême.

Cette arche d'épreuve a parfaitement résisté aux charges et aux surcharges pour lesquelles elle avait été calculée. L'expérience a été décisive.

Nous avons appliqué notre théorie à ce projet, et nous sommes arrivés aux résultats suivants :

1° Supposée construite avec des pierres travaillant à 30 kilos par centimètre carré, la voûte devrait avoir à la clef une épaisseur de $1^m,21$.

2° Avec des matériaux travaillant à 35 kilos, elle devrait avoir $1^m,01$.

3° Avec des matériaux travaillant à 40 kilos . . . . $0^m,84$.

Or M. de Lagrenée, dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1868, rapporte que, dans une des expériences auxquelles l'arche d'essai a été soumise, elle a été ruinée à la clef jusqu'à production de l'écrasement, et que la pression d'écrasement évaluée par ses formules a été de 468 kilogrammes par centimètre carré ; mais il prend soin d'avertir en même temps que ce chiffre est donné par des formules dont l'application à ce cas particulier ne fournit *peut-être* pas des résultats dont on puisse garantir entièrement l'exactitude ; il irait même jusqu'à penser que les pressions d'équilibre dans le corps de la voûte n'étaient pas en réalité inférieures à 70 kilos par centimètre carré.

D'après les résultats fournis par notre méthode, nous pensons, au contraire, que les pressions maxima sont restées comprises entre 40 et 50 kilogrammes.

Puisque l'épaisseur de $0^m,84$ à la clef correspond, d'après notre théorie, à des pressions de 40 kilos, il est certain que l'épaisseur de $0^m,80$, qui est celle de la voûte d'essai, devait correspondre à des pressions supérieures à 40 kilogrammes, mais qui n'ont pas dû aller jusqu'à 70 kilogrammes.

Nous accorderions donc toute confiance, d'après notre théorie, au chiffre de 468 kilogrammes cité par M. de Lagrenée.

Ce chiffre équivalant à des pressions d'équilibre de $46^k,8$ par centimètre carré.

On voit par les trois épaisseurs que nous venons de donner que nous sommes arrivés bien d'accord avec les résultats de l'expérience de l'arche d'essai.

§ XLI. — ***Étude des variations de l'épaisseur à la clef dans un même pont supposé successivement construit avec des matériaux diversement résistants.***

En étudiant, à l'aide de notre théorie, l'influence de la dureté des matériaux sur les épaisseurs à la clef d'une voûte quelconque, nous avons obtenu des résultats que nous allons signaler très brièvement en indiquant la voie qu'il conviendrait de suivre dans l'emploi de notre méthode pour ce genre de recherches.

Opérant sur un plein-cintre de 8 mètres d'ouverture, par exemple, qui devait supporter la charge d'une route ordinaire, nous nous sommes proposé de déterminer les diverses épaisseurs à la clef qu'il conviendrait de lui donner si on le supposait construit avec des matériaux travaillant à 4 kilos, à 6 kilos, etc.

Les épaisseurs, une fois la première épure établie, se déterminaient très vite, puisque le joint de plus *grande poussée* restant très sensiblement le même, il suffisait, à chaque nouvelle étude, de modifier seulement l'inclination de la *droite-limite* à la clef et à ce joint pour avoir de suite la *courbe-conjuguée* et l'épaisseur à la clef correspondantes.

Ces épaisseurs successives ont été ensuite portées en ordonnées d'une courbe dont les abscisses étaient proportionnelles aux résistances

de . . . . . 2 kilos, 4 kilos, 6 kilos, etc., etc.

Et nous avons trouvé que dans l'exemple choisi :

Pour R = 2 kil. il faudrait une clef de 0^m,87 d'épaisseur.
Pour R = 4 kil. il faudrait une clef de 0^m,39 d'épaisseur.
Pour R = 6 kil. il faudrait une clef de 0^m,25 d'épaisseur.
etc. . . . etc. . . .

Ces résultats numériques nous ont fourni (fig. 20, pl. 133) la courbe représentative A qui traduit la loi de décroissance des épaisseurs à la clef, par rapport aux variations de R.

Nous avons, avec la même facilité, opéré une recherche analogue pour la même voûte supposée devoir supporter un chemin de fer, et nous avons obtenu la courbe B.

Il suffit que nous donnions le dessin de ces courbes sans plus insister pour montrer l'intérêt qu'elles peuvent offrir.

Etant admis un procédé de vérification aussi rapide que celui que nous proposons, on pourrait étendre considérablement le champ de ces recherches comparatives et généraliser en courbes représentatives les résultats qu'elles fourniraient. Les interpolations donneraient les points intermédiaires.

Nous venons d'indiquer des courbes montrant l'influence de la résistance des matériaux; on en pourrait établir d'analogues pour traduire l'influence des variations d'ouverture, de portée, de surcharge; ou pour comparer les voûtes en plein-cintre aux voûtes en arc de cercle de même portée, ou encore l'influence des divers surbaissements, etc., etc.

Le champ de ces recherches devenu ainsi facilement explorable, révèlerait l'influence de chacune des données sur l'épaisseur des voûtes, sur l'économie des matériaux, etc., etc.

Et *ces résultats seraient parfaitement comparables entre eux*, puisqu'ils dériveraient tous d'une méthode rationnelle, uniformément appliquée à tous les cas.

§ XLII. — *Exemple de la recherche de la pression effective à laquelle travaillent les matériaux d'un pont exécuté.*

Prenons un exemple et supposons que l'on nous donne (fig. 21 pl. 133) un ponceau de 2 mètres d'ouverture en plein cintre exécuté avec $0^{m}40$ d'épaisseur à la clé, $0^{m}85$ au joint de naissance, et supportant $1^{m}55$ de remblai et de ballast, plus la surcharge d'un chemin de fer. On nous demande à quelle pression, par centimètre carré, les matériaux travaillent effectivement à la clé.

Établissant l'épure de ce profil de voûte, on commencera par chercher son joint de plus grande poussée en admettant une résistance R quelconque ; soit CD ce joint :

On tracera ensuite aux points A et C, les droites-limite correspondant à trois valeurs de la résistance R. S'il s'agit de petites voûtes on se tiendra dans les résistances de 1 à 6 kilog. S'il s'agissait de grandes voûtes on choisirait des *droites-limite* s'appliquant à des valeurs supérieures, et d'autant plus élevées que l'on aurait lieu de penser que la voûte travaille à un plus haut coefficient.

Dans l'exemple choisi, on a successivement pris :

$$R = 1^{k}.$$
$$R = 1^{k}5.$$
$$R = 2^{k}.$$

Déterminant à la clef les courbes-conjuguées de ces droites, chacune d'elles coupe sa *droite-limite* de clef et on obtient ainsi les points x, y, z.

Joignant ces points x, y, z, par une courbe continue on obtient une ligne USVA dont les ordonnées par rapport à l'horizontale AQ représentent les demi-épaisseurs que la voûte prendrait quand on ferait varier R.

L'intersection de cette courbe UVA avec la droite XN normale au milieu du joint de la clef AB, donne un point S de la droite-limite effective de la clef. Joignant SA, il ne reste plus qu'à mesurer le coefficient angulaire de cette *droite-limite* pour avoir le coefficient du travail demandé.

Dans le cas particulier de l'épure de la fig. 21, pl. 133, l'intersection S de la courbe VU et de la normale XN tombe un peu au-dessous du point y. Le travail des matériaux serait donc d'environ $1^{k}55$ par centimètre carré :

C'est un faible coefficient.

En général pour les petites voûtes en moellonnage ordinaire les épaisseurs admises sont telles que les matériaux ne travaillent guère à plus de 2 kilog.

On va voir dans le paragraphe suivant comment le coefficient de travail varie avec l'ouverture.

§ XLIII. — *Relation expérimentale entre le travail des matériaux R exprimé en kilogrammes, et l'ouverture exprimée en mètres.*

Quand on compare entre elles les épaisseurs d'un grand nombre de ponts d'ouvertures diverses, il semble que, par une déduction tacite, les auteurs qui ont donné des formules empiriques pour la fixation de l'épaisseur de la clef, ou les Ingénieurs qui ont puisé dans leur propre expérience le sentiment des épaisseurs qu'ils ont choisies aient admis (sans cependant mettre en évidence le coefficient R dans leur formule) que les matériaux que l'on emploierait seraient d'autant plus résistants que la voûte aurait plus d'importance comme ouverture.

Comme aucune des formules employées ne fait intervenir la valeur de R (au moins apparemment) (*), l'Ingénieur semblait se désintéresser dans sa formule de cette importante donnée. Comme d'un autre côté, il est évident d'après les épaisseurs admises qu'en pratique on en tenait tacitement compte, il nous a paru intéressant de rechercher quelle pouvait être dans les ponts établis sur les anciennes formules la variation approximative du coefficient de travail par rapport à l'ouverture.

Nous avons donc choisi un certain nombre de ponts exécutés dont nous avions les données et nous avons déterminé la pression maxima à laquelle la pierre est soumise dans chacun de ces ponts.

Nous avons ainsi dressé les deux tableaux suivants :

TABLEAU N° I.

PONTS EN ANSE DE PANIER OU EN ELLIPSE.

OUVERTURE.	MONTÉE.	ÉPAISSEUR à la clef.	SURCHARGE au-dessus de l'extrados exprimée en hauteur de matériaux de 2,200 kilog. le mètre cube.	PRESSION supportée par la pierre.
m.	m.	m.	m.	k.
6.00	2.30	0.60	0.55	3.00
10.00	3.30	0.75	0.75	4.40
13.00	4.33	0.92	0.71	5.75
15.00	5.00	0.90	0.75	7.00
15.00	3.75	0.80	0.55	4.65
17.00	4.50	0.90	0.55	5.60
18.80	3.54	0.86	0.71	8.43
22.00	7.14	1.06	0.81	10.12
23.40	7.00	0.97	0.71	11.00
29.20	8.77	1.30	0.71	12.43
29.90	8.12	1.79	0.60	14.00
39.00	11.13	1.94	0.80	16.90
42.00	11.60	1.95	0.72	15.85
45.00	12.86	1.82	0.71	18.92
48.70	12.25	1.87	0.73	24.00

(*) Voici quelques-unes de ces formules :

Formule de M. Dejardin : $e = 0,30 + 0,1\,R$; R rayon plein cintre.

d° d° Perronnet : $e = 0,325 + 0,035\,A$; $A = 2$ fois le rayon.

d° d° Saint-Guilhem : $e = 1/3\,(0,20\rho + 1)$; ρ rayon de courbure au sommet.

d° d° Léveillé : $e = \dfrac{1 + 0,1\,d}{3}$; d étant l'ouverture.

Lesguiller : $e = 0,2\sqrt{l} + 0,10$; l est l'ouverture.

Picquenot : $e = 0,40 + 0,035\,(l - 10)$; l est l'ouverture.

TABLEAU N° II.

PONTS EN ARC DE CERCLE.				
OUVERTURE.	MONTÉE.	ÉPAISSEUR à la clef.	HAUTEUR de surcharge.	PRESSION par centimètre carré.
m.	m.	m.	m.	k.
5.85	0.783	0.65	0.55	3.54
7.80	0.975	0.812	0.725	3.87
12.00	1.00	0.65	0.71	10.49
12.00	1.25	0.85	0.85	7.77
13.00	1.30	0.80	0.87	10.34
13.64	1.19	1.19	0.71	8.03
14.00	1.90	1.10	0.60	6.38
15.00	2.00	0.90	0.50	7.60
16.00	1.67	0.94	0.90	11.29
19.50	2.61	0.98	0.63	10.28
23.40	2.09	1.46	0.71	14.58
26.00	2.63	1.28	0.60	15.00
28.60	2.99	1.14	0.72	18.00

De l'examen de ces deux tableaux et de la comparaison de la colonne des ouvertures avec celles des pressions, on conclut qu'à part quelques exceptions, la pression par unité de surface croît avec l'ouverture. Il s'ensuivrait en outre que nos devanciers auraient pratiquement et tacitement admis à peu près la règle empirique suivante :

1° *Dans les ponts en ellipse ou en anse de panier, la pression moyenne à laquelle on ferait travailler les matériaux serait approximativement égale à la moitié de l'ouverture exprimée en mètres.*

2° *Dans les voûtes en arc de cercle, ce rapport serait plus fort et oscillerait autour des* 2/3.

D'après ces résultats, en supposant qu'on ne voulut pas faire travailler les matériaux à plus de 50 kilog. par centimètre carré, les plus grandes portées que l'on pourrait atteindre en suivant ces traditions seraient donc approximativement de :

100 mètres pour les arches en anse de panier ou en ellipse ;
67 mètres pour les arcs de cercle d'un surbaissement voisin de 1/10.

§ XLIV. — *Autres exemples de l'application de la nouvelle méthode.*

Nous avons encore voulu essayer notre méthode en l'appliquant à des ponts à surcharge irrégulière.

Voici deux des cas particuliers que nous avons choisis :

1° VOUTE A SURCHARGE EN FORME DE TOIT.

C'est le genre des voûtes casematées.

La courbe des pressions fournie par notre méthode se relevait très sensiblement à la clef, s'aplatissait vers les reins, s'éloignait aux naissances. Nous n'avons pas eu à tâtonner pour déterminer l'extrados ; nos tracés nous l'ont fourni sans que nous ayons à faire d'hypothèse sur sa forme probable.

2° SURCHARGE ACCUMULÉE AUX REINS DE LA VOUTE.

Cet exemple pourrait être supposé réalisé par un pilier ou un support transversal venant s'appuyer, par une base convenablement épatée, sur les reins d'une voûte.

L'influence de la charge ainsi admise s'est traduite par une modification sensible du profil habituel d'extrados.

L'épaisseur de la clef s'est trouvée notablement augmentée par les réactions de cette surcharge extraordinaire.

Nous n'insistons pas sur ces exemples. Nous ne les citons que pour faire connaître les ressources de nos tracés.

§ XLV. — *Vérification de ponts exécutés.*

Notre méthode, appliquée à un certain nombre de ponts à grande portée, construits et reconnus stables, nous a toujours donné des épaisseurs concordant parfaitement avec les dimensions d'exécution. En général cependant, nous trouvons des épaisseurs un peu plus faibles, auxquelles nous accorderions toute confiance puisqu'elles se justifient par la précision de la théorie, sans s'éloigner sensiblement de

faits de la pratique, et nous n'hésiterions pas à aborder les plus grandes portées toutes les fois que nous serions sûrs de la solidité des appuis (culées ou piles).

Il est des marbres qui ne s'écrasent qu'à 800 kilog., des Basaltes et des Porphyres qu'à 2,000 kilog.

Avec de tels matériaux on pourrait dépasser pratiquement les portées de 100 mètres. Ce ne serait plus une question de théorie, mais une question de taille et d'approvisionnement de pierres convenablement dures à proximité des travaux, et de construction de cintre.

C'est dans ces grandes voûtes qu'il pourrait devenir intéressant d'employer des matériaux de dureté croissante de la clef aux naissances, et on a vu ci-dessus que notre méthode permet très facilement l'établissement d'un tel projet.

§ XLVI. — *Des surcharges roulantes et du coefficient dont il conviendrait de les affecter pour tenir compte des effets de la trépidation.*

L'influence du *roulement* des charges paraît beaucoup plus grande que celle de leur *poids*, à cause des chocs et des trépidations que ces charges produisent. A ce point de vue il serait intéressant d'éviter l'emploi des chaussées en pavage sur les ponts.

On a peu de données à l'égard du coefficient dont il conviendrait d'affecter le poids des charges roulantes, pour tenir compte des effets des trépidations.

Voici ce que dit à ce sujet M. Decomble, dans les Annales des ponts et chaussées de juin 1869 :

« Les expériences Anglaises (en attendant des données plus explicites et plus générales) sur la résistance des barres de fonte soumises à l'action prolongée de charges tranquilles, puis de charges animées de la vitesse des trains de chemins de fer, laissent supposer que, à des erreurs négligeables près, on peut admettre que, *l'action mécanique d'une charge tranquille équivaut à l'action du tiers de cette charge animée de la vitesse des trépidations et des chocs constatés sous les chemins de fer*, et, en outre, que ces deux charges, d'espèces différentes, convergent vers un effet mécanique

« identique au fur et à mesure que le rapport de la charge mobile « à la somme du poids total de l'ouvrage et de la charge perma- « nente diminue. De sorte que, pour une très grande arche, conve- « nablement surchargée, il serait peut-être possible de considérer la « charge mobile comme équivalant, à bien peu près, à la même « charge supposée tranquille. »

D'où il résulterait que le coefficient cherché devrait être égal à 3 pour les ponts d'une masse relativement faible, et qu'il pourrait être réduit à 2 pour les ponts dont la masse est grande par rapport à celle de la charge roulante.

Le docteur Scheffler dans son ouvrage sur la « Stabilité des constructions », propose d'augmenter de 0^m94, pour les ponts de chemins de fer la hauteur de charge que l'on admettrait pour un pont de route ordinaire ; et il pense que l'on tient ainsi suffisamment compte de l'excès de charge dû aux trains et des secousses causées par le roulement.

A plusieurs reprises dans son beau *Mémoire sur l'établissement des arches de ponts,* M. Yvon-Villarceau signale l'importance de la détermination des effets des charges en mouvement et des chocs ; mais sans indiquer aucun coefficient, il se borne à renvoyer le lecteur aux numéros 20 et 28 de sa *Théorie de la stabilité des locomotives en mouvement* pour l'étude des pressions dues aux mouvements relatifs des organes des véhicules.

§ XLVII. — *Formules donnant l'épaisseur à la clef.*

Nous groupons dans ce paragraphe les diverses formules qui ont été proposées pour la fixation, sans théorie, de l'épaisseur à la clef. Elles peuvent servir de renseignement pour l'étude des ponts où on les a appliquées, ou pour comparer les résultats des théories nouvelles, avec les épaisseurs que l'on admettait jusqu'ici.

Nous faisons remarquer de nouveau que le coefficient de la résistance des pierres n'apparaît pas dans ces formules et nous renvoyons à ce sujet à ce que nous avons dit précédemment au paragraphe XLIII.

FORMULES DE M. DÉJARDIN.

1° Plein-cintre de rayon r. . . . . . . $e = 0^m,30 + 0,1\ r$.

2° Arc de cercle de rayon r, angle total au centre 60°. . . . . $e = 0^m,30 + 0,05\ r$.

3° Arc de cercle de 50° au centre . . . $e = 0^m,30 + 0,035\ r$.

4° Anse de panier, surbaissée au tiers; r rayon au sommet . . . . $e = 0^m,30 + 0,07\ r$.

5° Ogive tiers-point, c étant la projection verticale d'un joint quelconque . . . . $c = 0^m,30 + 0,05\ r$.

FORMULE DE PERRONNET.

6° A, distance des piédroits dans les pleins-cintres.

Dans les voûtes en arc de cercle, A exprime le double du rayon.
Et dans les anses de panier le double du rayon au sommet.

$$e = 0^m,325 + 0,035\ A.$$

FORMULE DE SAINT-GUILHEM.

7° ρ, rayon de courbure au sommet quel que soit l'intrados :

$$e = 1/3\ (0.20\ \rho + 1).$$

FORMULE DE M. LÉVEILLÉ.

8° Intrados quelconque, d étant l'ouverture. $e = \frac{1 + 0.1\ d}{3}$.

FORMULE DE M. YVON-VILLARCEAU.

9° h étant la charge au-dessus de la clef exprimée en hauteur de matériaux de la voûte,

f la montée,

g la demi-ouverture.

Formule applicable aux anses de panier dont le surbaissement est compris entre 1/3 et 1/4.

$$e + h = \frac{0.798 f - 0.227 g}{\left(\frac{g^2}{f^2} - 1\right)}.$$

. . . .

FORMULE DE M. LESGUILLER.

10° l étant l'ouverture de la voûte, $e = 0^m,2 \sqrt{l} + 0.10$.

Cette formule donne des épaisseurs un peu fortes pour les constructions hourdées au ciment.

. . . .

FORMULE DONNÉE PAR M. PICQUENOT.

11° l étant l'ouverture de la voûte, la formule s'appliquant aux ponts de 10 à 50 mètres construits en ciment,

$$e = 0.40 + 0.035\,(l - 10).$$

Cette formule donne les résulats suivants :

$l = 10^m$	$e = 0^m,40$.	Ponts en briques et ciment.
$l = 20^m$	$e = 0^m,75$	
$l = 30^m$	$e = 1^m,10$.	Le pont de Vernon a $l = 28$ mètres d'ouverture et $e = 1^m,05$, la formule donnerait $1^m,03$.
$l = 40^m$	$e = 1^m,45$.	Pont de Saint-Sauveur $l = 42$ mètres, $e = 1^m,50$. La formule donnerait $1^m,52$.
$l = 50^m$	$e = 1^m,80$.	Viaduc de Nogent.

CHAPITRE IV

Nous avons groupé dans ce chapitre une série de renseignements, intéressant les voûtes en général et de nature à aider aux applications pratiques de notre théorie.

Note A.

§ XLVIII. — *Du frottement et du glissement des voussoirs les uns sur les autres. — Tableaux des coefficients de frottement.*

Nous avons dit au § V, que, nous appuyant sur les démonstrations graphiques de M. Collignon, nous pouvions négliger les effets du glissement.

Néanmoins, pour que notre mémoire contienne tous les renseignements numériques nécessaires à l'établissement des voûtes, au cas où des vérifications de glissement sur les culées seraient nécessaires, nous allons donner quelques détails succincts sur le frottement.

Fig. 22 et 23, pl. 134. — Appelons R une résultante P *b* oblique à un joint et agissant de haut en bas. La force de compression qu'elle produit est représentée par la composante *pq* et la force du glissement par *pd*.

L'adhérence et le frottement sont les seules forces qui puissent s'opposer au glissement du bloc supérieur sur le bloc inférieur; on ne tient jamais compte de l'adhérence. Le frottement total *ag* qui doit résister à la force *pd* est la somme de toutes les petites forces élémentaires qui agissent sur le voussoir supérieur dans le sens de la flèche M. Il dépend :

1° De l'intensité de la pression normale *ac* ;

2° De la *nature* des surfaces en contact.

Il est au contraire indépendant de *l'étendue* des surfaces en contact. Il se représente donc par la formule :

$$ag = ac \times f.$$

f étant le coefficient de frottement déterminé par expérience.

L'équation ci-dessus peut s'écrire :

$$f = \frac{ag}{ac} = \frac{ag}{go} = tg\,\varphi.$$

L'angle φ (fig. 22) se nomme *angle de frottement* de la matière S sur la matière I. Il faut se garder de le confondre avec l'angle quelconque α de la force et du joint (fig. 23). Cet angle φ est indépendant de toute notion de pression.

Pour qu'il n'y ait pas glissement, il faut que la résistance ag soit plus grande que la puissance pd ou que ;

$$ac\ tg\,\varphi > pq\ tg\,\alpha,$$

ou

$$\varphi > \alpha.$$

L'angle de la résultante des pressions avec la verticale doit donc être plus petit que l'angle du frottement.

Cette condition est suffisante.

On admet habituellement pour les maçonneries ordinaires :

$$f = 0{,}76, \text{ qui correspond à } \varphi = 37^\circ.$$

M. Bourdais a donné les chiffres suivants :

Corps glissant l'un sur l'autre.	f RAPPORT du frottement à la pression normale.	φ
Maçonnerie sur béton.......................	0.76	37°
Maçonnerie sur terre ordinaire...............	0.57	30°
Maçonnerie sur argile humide................	0.30	17°

Les Ingénieurs possèdent peu de renseignements sur l'adhérence. En la négligeant on ne commet pas d'erreur bien sensible ; on se donne un petit excès de solidité.

M Déjardin propose dans sa *Routine de l'établissement des voûtes*, les nombres suivants :

1° Lorsque les joints des pierres sont dressés et que le mortier est encore flasque . . . . $\varphi = 29° 45'$

2° Quand le joint est dressé et que le mortier est pris. $\varphi = 45°$.

Il pense que ces angles de glissement sont un peu plus faibles que ceux que donneraient des expériences directes.

Le tableau suivant est extrait de Claudel, d'après M. Morin :

Nature des Matériaux et enduits.	RAPPORT f au DÉPART.	RAPPORT f pendant LE MOUVEMENT.
Calcaire tendre oolithique, bien dressé sur lui-même, sans enduit	0.74	0.64
Calcaire, dit Muschelkalk, bien dressé sur calcaire oolithique, sans enduit	0.75	0.67
Brique ordinaire sur calcaire oolithique, sans enduit.	0.67	0.65
Muschelkalk sur Muschelkalk, sans enduit	0.70	0.38
Calcaire oolithique sur Muschelkalk, sans enduit	0.75	0.65
Brique ordinaire sur Muschelkalk, sans enduit	0.67	0.60
Calcaire oolithique sur calcaire oolithique, enduit de mortier de 3 parties sable fin et 1 partie chaux hydraulique, après 10 à 15 minutes de contact	0.74	»

Note B.

RÉSISTANCE DES PIERRES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.

TABLEAUX ET COEFFICIENTS.

§ XLIX. — ***Tableau des valeurs de la pression R par centimètre carré pour les matériaux ordinairement employés.***

Nous extrayons de l'*Introduction à la mécanique industrielle* de M. Poncelet les tableaux suivants qui donnent le poids du mètre cube de différents matériaux et leur charge d'écrasement par centimètre carré.

La valeur de R est ordinairement le 1/10 de la charge d'écrasement.

Pierres volcaniques, granitiques siliceuses et argileuses.	POIDS du mètre cube de pierre.	CHARGE d'écrasement par centimètre carré.
Basalte de Suède et d'Auvergne	2950 kilos	2000
Lave du Vésuve	2600	590
Lave tendre de Naples	1970	230
Porphyre	2870	2470
Granit vert des Vosges	2850	620
Granit gris de Bretagne	2740	650
Granit de Normandie	2660	700
Granit gris des Vosges	2640	420
Grès très dur	2500	870
Grès tendre	2490	4
Pierre porc ou puante (argileuse)	2660	680
Pierre grise de Florence	2560	420

Briques, plâtres et mortiers.	POIDS du mètre cube	CHARGE d'écrasement par centimètre carré.
Brique dure très cuite	1560 kilos	150
Brique rouge	2170	60
Brique rouge pâle (probablement mal cuite)	2090	40
Brique de Hammersmith	»	70
Brique de Hammersmith, brûlée ou vitrifiée	»	100
Plâtre gâché à l'eau	»	50
Plâtre gâché au lait de chaux	»	73
Mortier ordinaire chaux et sable	1600	35
Mortier en ciment ou tuileaux pilés	1460	48
Mortier en grès pilé	1680	29
Mortier en pouzzolane de Naples et de Rome	1460	37
Enduit antique, près de Rome	1550	76
Enduit en ciment des démolitions de la Bastille	1490	55

Pierres calcaires.	POIDS du mètre cube de pierre.	CHARGE d'écrasement par centimètre carré.
Marbre noir de Florence	2720 kilos	790
Marbre blanc veiné statuaire et Turquin	2690	310
Pierre noire de St-Fortunat très dure et coquilleuse	2650	630
Roche de Châtillon dure et un peu coquilleuse	2290	170
Liais de Bagneux, très dur et à grain fin	2440	440
Roche douce de Bagneux	2080	130
Roche d'Arcueil	2300	250
Pierre de Saillancourt, 1re qualité	2410	140
Pierre de Saillancourt, 2e qualité	2100	90
Pierre ferme de Conflans	2070	90
Lambourde et vergelée	1820	60
Lambourde de qualité inférieure résistant mal à l'eau	1560	20

Pierres calcaires.	POIDS du mètre cube de pierre.	CHARGE d'écrasement par centimètre carré.
Calcaire dur de Givry	2360 kilos	310
Calcaire tendre de Givry	2070	120
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz, 1re qualité	2200	180
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz, 2e qualité	2000	120
Calcaire jaune oolithique d'Amauvilliers, près Metz, 1re qualité	2000	120
Calcaire jaune oolithique d'Amauvilliers, près Metz, 2e qualité	2000	100
Roche vive de Saulny, près Metz (non rompue)	2550	300
Calcaire bleu à gryphite donnant la chaux hydraulique de Metz (non rompue)	2600	300
Roche jaune de Rozereuille	2400	180

D'après M. Decomble, les essais faits lors de la construction du grand viaduc de Chaumont ont donné les résultats suivants :

DÉSIGNATION.	PRESSION par centimètre carré.
Grande oolithe rouge, de Biesle, charge d'écrasement	155k
Cornbrash rouge de Jouchery	118
Ces chiffres sont les plus faibles de tous ceux trouvés expérimentalement sur 84 échantillons.	
Les bancs de Marault et de Condes avaient donné :	
Marault	375
Condes	277

§ L. — *Résistance des mortiers de ciment de Vassy et de Portland.*

Des expériences faites à Vernon, en 1873, ont donné 36 kilos pour résistance à l'écrasement du ciment de Vassy (mi-partie sable, mi-partie ciment).

Le mortier de Portland, composé de 1 partie de ciment et de 2 parties de sable, accuse la même résistance de 36 kilos.

Avec parties égales de sable et de ciment, ce mortier de Portland atteint 60 kilos après quinze jours.

§ LI. — *Pressions supportées par les piliers de divers édifices, d'après Navier.*

Navier donne les chiffres suivants pour des constructions regardées de son temps comme des plus hardies :

DÉSIGNATION.	PRESSION par centimètre carré.
Piliers du dôme de Saint-Pierre de Rome	16k.36
Piliers du dôme de Saint-Paul de Londres	19 .36
Piliers du dôme des Invalides à Paris	14 .76
Piliers du dôme de Sainte-Geneviève (Panthéon), Paris	29 .44
Colonne Saint-Paul, hors des murs, à Rome	19 .76
Piliers de la tour de l'église Saint-Méry, à Paris	29 .40
Colonne de l'église Saint-Toussaint, à Angers	44 .28

Note C.

§ LII. — *Description d'un appareil de chantier pour essayer les pierres par écrasement.*

Le docteur Scheffler, dans son ouvrage que nous avons déjà cité, s'exprime ainsi à propos des valeurs de R :

« La résistance des matériaux employés n'est pas la même pour les « divers ponts ; mais, faute de renseignements suffisants, on a été obligé « *de ne pas tenir compte de cette différence, ce qui n'a pas, en pra-* « *tique, de grands inconvénients.* »

Peu d'ingénieurs seront sans doute de cet avis : les chiffres si éloignés les uns des autres, que nous avons cités précédemment, (on a vu que certains ponts travaillent à 1k,5 et d'autres à 47 kilos), prouvent, au contraire, combien il est indispensable que tout ingénieur désireux d'employer *au mieux* les matériaux dont il dispose se rende exactement compte de leur résistance limite.

On peut d'abord opérer par comparaison d'aspect, de densité, de dureté avec les matériaux analogues dont nos tableaux donnent le

coefficient R. On n'obtient, par ce moyen, qu'un à-peu-près, suffisan tout au plus pour un avant-projet. Pour un ouvrage quelque peu important, il y aura toujours avantage et sécurité à recourir à une détermination expérimentale.

Nous nous sommes très souvent servi, pour des essais de ce genre, d'une petite machine fort simple, ne revenant guère à plus de 250 fr., dont voici une description succincte (fig. 24, 25 et 26, pl. 134) :

Deux semelles en bois SS (fig. 24), réunies par des entretoises, reposent sur le sol et reçoivent l'assemblage de deux montants verticaux M, parallèlement espacés de 0m,20. Une traverse T solidement assemblée et consolidée par des équerres en fer, supporte le bloc de pierre B (fig. 25) qu'il s'agit d'essayer. Nos blocs avaient habituellement la forme d'un cube, de 50 millimètres de côté pour les pierres tendres ordinaires, de 40 millimètres pour les pierres dures, et de 30 millimètres pour les pierres très dures. On intercale entre la pierre et son support des doubles de papier, de carton mince ou de feutre pour que le cube porte parfaitement sur *toute* sa base. Sur ce bloc on pose, toujours en intercalant du feutre, une platine en fer (fig. 26) de 30 millimètres d'épaisseur, qui porte en son milieu supérieur un couteau d'acier ; sur ce couteau repose le levier qui transmet la force de l'écrasement : il a 2m,20 de longueur; il est en fer méplat, aciéré vers l'extrémité qui subit l'effort tranchant des couteaux, gradué en centimètres sur toute sa longueur et subdivisé en millimètres à l'extrémité qui avoisine les couteaux.

Avant d'abandonner le levier à lui-même, on pose la seconde platine P', le couteau en dessous, en contact avec le levier et on la met en position en approchant le sommier D à l'aide de la vis V que l'on fait descendre jusqu'à ce que le levier soit à peu près horizontal.

On charge alors le levier en accrochant le plateau de bascule ; on peut varier les éléments de la pression de différentes manières :

1° En adoptant des blocs plus ou moins larges, selon leur dureté ;

2° En modifiant la distance horizontale des arêtes C et C' des couteaux (fig. 25) ;

3° En déplaçant le plateau de balance pour modifier son bras de levier ;

4° En chargeant plus ou moins ce plateau.

Les moyens d'opérer commodément ne manquent pas, comme on le voit.

Nous avons fait un très fréquent usage de cet appareil et nous l'avons toujours trouvé bien suffisant. Il fut employé lors de la construction des maisons du quartier de la Joliette et du Lazaret à Marseille, pour l'essai de nombreuses variétés de pierres d'Arles, de Tarascon, etc.

Toute pierre qui ne supportait pas au moins 60 kilos par centimètre carré était rigoureusement refusée.

La machine occupait peu de place ; elle était logée dans le bureau même des Conducteurs qui s'en servaient chaque fois que des pierres d'un banc nouveau apparaissaient sur les chantiers.

Il existe au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris, une très belle et très puissante machine qui opère rapidement les essais de pierres. Les blocs peuvent avoir 10 centimètres de côté ; c'est une base d'appui quatre fois plus grande que la nôtre.

Notre machine nous servait également à l'essai des ciments par compression, concurremment avec un appareil à crochet qui les essayait par traction.

CHAPITRE V

RÉSUMÉ DES THÉORIES DES VOUTES

DE MM. DÉJARDIN, CARVALLO, DROUETS, YVON-VILLARCEAU, DENFERT-ROCHEREAU, SAINT-GUILHEM, DURAND-CLAYE, Dr SCHEFFLER ET PEAUCELLIER.

Note D.

ROUTINE DE L'ÉTABLISSEMENT DES VOUTES

PAR M. DÉJARDIN.

§ LIII. — SOMMAIRE. — ***Considérations sur l'équilibre d'un arc. — Relations entre la forme de l'intrados et la surcharge. — Détermination de la courbe d'extrados péricycloïde. — Limite de l'ouverture des ponts. — Voûtes en plates-bandes. — Voûtes surhaussées. — Ogives.***

Considérant un arc en équilibre, M. Déjardin démontre que :

1° *Lorsque les forces appliquées d'une manière continue à un arc sont constamment normales à l'arc et ont une intensité constante*, la courbe d'équilibre est un cercle : $r =$ constante; la pression dans le sens d'un élément de l'arc est constante et égale au produit de l'action normale par le rayon;

$$T = rN.$$

2° *Quand les forces normales ont une intensité variable*, la tension est toujours constante; le rayon de courbure variable est constamment réciproque à l'intensité de l'action normale;

$$T = \rho N = \text{constante}.$$

3° *Quand les forces appliquées sont parallèles entre elles* (les inten-

sités étant d'ailleurs quelconques), la composante de la tension prise perpendiculairement à la direction de la force est constante ; c'est le cas des ponts soumis seulement à l'action de la pesanteur.

Une corde pesante suspendue par ses extrémités prend, à l'état d'équilibre, la forme d'une chaînette.

Un fil suspendu par ses extrémités et supportant une charge uniformément répartie sur sa projection, prend la forme d'une parabole (ponts suspendus).

Si les actions agissant sur une voûte étaient *toutes normales à l'intrados*, la courbe d'intrados devrait être :

1° Un cercle, si l'action normale était constante ;

2° Une courbe surbaissée, si l'action normale allait en augmentant du sommet vers les naissances (c'est le cas de voûtes où la surcharge est arrasée horizontalement et dans lesquelles les reins sont alors plus chargés que le sommet) ;

3° Une courbe surhaussée, si l'action décroissait du sommet vers les naissances.

La pression totale sur les joints *croît* du sommet vers les naissances. L'auteur en conclut que l'épaisseur de la voûte doit croître aussi dans le même sens.

M. Déjardin établit ensuite des formules qui expriment la poussée horizontale, et il se propose de déterminer l'extrados de manière que le profil de la voûte soit tel que la charge normale sur le cintre soit constamment réciproque au rayon de courbure de l'intrados. Il arrive à cette conclusion : que *la projection verticale de chaque joint doit être égale à l'épaisseur à la clef ;* d'où résulte une construction extrêmement simple pour le tracé de l'extrados, étant supposée connue l'épaisseur à la clef. (Voir fig. 29, pl. 134.)

Cette construction suppose que la voûte n'a d'autre charge à porter que son propre poids ; cela revient à admettre que sa masse est assez grande par rapport aux charges pour que l'on puisse négliger l'influence de celles-ci ; hypothèse difficilement admissible, surtout pour les ponts de chemins de fer.

Les courbes d'extrados proposées par M. Déjardin (fig. 29) ont toutes pour asymptote l'horizontale menée à une distance du niveau des naissances égale à l'épaisseur à la clef ; M. Déjardin ne conserve de ces

courbes, qu'il appelle péricycloïdes, que la partie comprise entre la clef et le joint de 60 degrés. Il considère ensuite la portion de voûte *a b c k* comme une culée dont il détermine les dimensions par l'étude de la résistance au *mouvement*.

M. Déjardin admet que l'on doit se donner *a priori* l'épaisseur à la clef.

§ LIV. — *Limite des ouvertures des voûtes en fonction de la résistance des pierres.*

D'après M. Déjardin, la limite de la portée des voûtes en fonction de la résistance des matériaux serait :

1° Moellons informes	R = 2k.5	Ouverture limite 11m,75
2° — pendants	R = 3 .5	— 16m,50
3° — équarris	R = 6 .0	— 28m,40
4° — appareillés en coupe	R = 9 .0	— 42m,70
5° Pierre de taille	R = 15 .0	— 71m,00

Toujours selon le même auteur, il serait bon que le remblai sur la voûte se fît *par couches à peu près concentriques à l'extrados*, de manière à bien asseoir la voûte.

Il recommande beaucoup l'emploi du pont en arc de cercle de 60 degrés au centre; selon lui, les ponts en anse de panier manquent de style et d'économie, et le plein-cintre ne devrait être adopté que pour des charges considérables et analogues à celles des tunnels.

La voûte en arc de cercle de 60 degrés devrait avoir, aux naissances, les épaisseurs suivantes :

1° Voûtes de 4 mètres à 18 mètres d'ouverture $b = \frac{r}{4}$

2° Voûtes de 18 mètres et au delà. . . . . $b = \frac{r}{6}$

} r étant le rayon d'intrados.

(D'après M. Piquenot, l'épaisseur des culées varierait ordinairement de 3/10 à 4/10 de l'ouverture pour des anses de panier.)

Si une série de petites voûtes devait reposer sur une arche de grande ouverture, comme il arrive dans les ponts aqueducs, cette arche devrait avoir un intrados en arc de cercle très surbaissé, ce profil convenant le mieux à une répartition uniforme des charges.

§ LV. — *Voûtes ogivales.* — *Voûtes surhaussées.* — *Voûtes en plates-bandes.*

M. Déjardin regrette vivement le discrédit où sont tombées les voûtes ogivales, malgré les propriétés remarquables dont elles jouissent; elles supportent mieux que toutes les autres formes de voûtes de fortes charges à la clef, et pourraient s'appliquer aux viaducs, aux piles de ponts suspendus, etc.

La charge qui doit reposer au sommet d'une ogive tiers-point, pour qu'il y ait équilibre, est représentée par le poids d'un prisme de maçonnerie qui aurait pour hauteur le rayon d'intrados, et pour base, l'épaisseur à la clef.

L'épaisseur de cette voûte aux naissances devrait être double de la projection verticale d'un joint voisin de la clef.

Plus une voûte ogivale est aiguë, plus sa poussée horizontale est faible.

Dans les **voûtes surhaussées**, le rayon de courbure augmentant de la clef aux naissances, le profil d'équilibre devrait, selon M. Déjardin, avoir des joints diminuant de longueur depuis la clef jusque vers les naissances.

(Faisons remarquer que si cette considération est vraie au point de vue de la seule charge verticale, elle serait peut-être d'une application dangereuse en ce qui concerne la poussée inclinée que les remblais peuvent exercer sur les reins très développés de ce genre de voûtes. C'est pour cela que l'on donne généralement aux maçonneries des reins un surcroît d'épaisseur.)

Les **voûtes en plates-bandes** sont assimilées par M. Déjardin à des voûtes en arc de cercle qui auraient h pour rayon et c pour épaisseur à la clef. On trouve dans l'ouvrage de M. Déjardin des développements très intéressants sur ce genre de voûtes.

§ LVI. — *Décintrement.*

M. Déjardin conseille de décintrer presque aussitôt l'achèvement de la voûte, avant que le mortier ait fait prise complète. On permet ainsi

à la voûte de prendre d'elle-même sa position d'équilibre et de s'asseoir.

Note E.

THÉORIE DE M. CARVALLO.

(*Annales des ponts et chaussées*, 1853, 1er semestre.)

§ LVII. — SOMMAIRE. ***Caractère de cette théorie. — Relation entre les tangentes au joint de rupture, les tangentes à l'origine de la courbe des pressions et la verticale du centre de gravité. — Forme d'égale résistance des piles. — Tables numériques.***

Comme M. Déjardin, M. Carvallo se donne l'intrados et se propose de déterminer l'extrados curviligne de manière à restreindre autant que possible le cube de la pierre; mais de plus il s'impose :

1° Le poids du mètre cube de la maçonnerie à employer;

2° La pression limite R fixée d'après la résistance de la pierre choisie ;

3° Le coefficient du frottement de la pierre sur le lit du mortier.

Il démontre les théorèmes suivants, donnés déjà par MM. Lamé et Clapeyron (figure 30, pl. 134) :

1° La tangente au point de rupture à l'intrados, et la verticale passant par le centre de gravité de la portion de voûte située au-dessus de ce point se rencontrent sur la tangente à l'origine de la courbe des pressions;

2° Les tangentes aux points des courbes d'intrados et de pression placés sur la verticale passant par le point de rupture, se rencontrent sur la tangente à l'origine de la courbe des pressions;

3° Cette tangente à l'origine, la verticale passant par le centre de gravité et les deux tangentes aux points placés sur la verticale de rupture, sont quatre lignes se rencontrant en un même point;

4° La courbe des pressions est indépendante de l'extrados quand la

voûte est surmontée de tympans en maçonnerie limités à un plan horizontal;

5° La courbe des *pressions est au moins du second degré.*

M. Carvallo adopte la loi de Bélanger (dite Loi du trapèze) pour la répartition des pressions sur les joints. Il admet que l'action des charges sur l'extrados s'exerce ***suivant la verticale***, tandis que nous verrons que M. Yvon-Villarceau admet qu'elles agissent ***normalement à l'intrados.***

§ LVIII. — *Pile d'égale résistance.*

Étudiant la forme de pile qui donnerait l'égalité de pression sur chacune des assises de la pile, il arrive à l'équation suivante. (Voyez fig. 40, pl. 134.)

$$u = \frac{l}{2} e^{\frac{\epsilon}{p} x}$$

l épaisseur de la pile au sommet;
e base des logarithmes Népériens;
p pression limite par centimètre carré.

La forme de pile déduite de cette équation est très élégante (fig. 40, pl. 134); nous croyons nous rappeler que les piles du viaduc qui fait suite au pont de Langon ont été profilées d'après ces idées.

§ LIX. — *Tables numériques.*

Le Mémoire de M. Carvallo se termine par des tables qui donnent pour tous les rayons depuis 1 mètre jusqu'à 40 mètres et pour toutes les épaisseurs de maçonnerie au-dessus de l'intrados à la clef depuis 1 mètre jusqu'à 12 mètres :

1° Les dix ordonnées de la courbe des pressions;

2° L'épaisseur à la clef;

3° La poussée à la clef;

4° La pression P′ limite des charges permanentes (P′ est le 1/10° des charges qui produiraient l'écrasement.)

Les calculs que comporte l'application de cette théorie nous ont paru laborieux. Ils sont inapplicables dans tous les cas assez nombreux, qui ne sont pas compris dans les hypothèses de l'auteur.

Note G.

THÉORIE DE M. DROUETS.

(*Annales des ponts et chaussées*, 1865, mars et avril.)

§ LX. — *Appréciation de la méthode de Méry.*

M. Drouets développe de la manière suivante les idées qui l'ont guidé dans son étude, et le but qu'il s'est proposé d'atteindre.

« De toutes les théories connues jusqu'à ce moment sur la stabilité « des voûtes, celle de M. Méry (*Annales des ponts et chaussées* 1840, « 1er semestre) paraît la plus simple et la plus généralement adoptée « par les Ingénieurs et les Constructeurs.

« M. Mantion, dans son étude sur les ponts métalliques, a traduit la « théorie de M. Méry par l'énoncé suivant : *Une section de voûte sera « suffisante pourvu qu'on puisse y tracer une courbe des pressions « telle que les pressions maxima, les mêmes dans tous les points « faibles, ne dépassent pas la limite de charge qu'on s'est imposée.* « (*Annales des ponts et chaussées* 1860, 2e semestre).

« Les mots soulignés dans cet énoncé ne ressortent pas de l'exposé « fait par M. Méry dans les *Annales* de 1840, car loin de prendre une « courbe de pression déterminée et définie *a priori*, il se borne à « essayer une courbe des pressions en prenant arbitrairement deux « points, l'un sur le joint de la clef, l'autre sur le joint de naissance, « sauf à modifier ces points si la courbe qui en résulte donne des « pressions supérieures à la limite de charge admise. »

Voilà des considérations qui nous semblent définir parfaitement la méthode de Méry. Cet Ingénieur recherchait *une courbe des pressions inscriptible dans le profil de la voûte* et compatible avec la limite R ; s'il en trouvait *au moins une* il en concluait que la voûte était stable.

On sait qu'une courbe des pressions est déterminée quand on se

donne deux de ses points, ou bien encore quand on se donne soit à la clef, soit en un joint quelconque le point d'application, l'intensité et la direction de la pression qui agit sur ce joint.

§ LXI. — *Développements sur la méthode de M. Drouets.*

M. Drouets s'est proposé d'éviter les tâtonnements de la méthode de Méry.

Il a démontré :

1° Qu'il y a pour une voûte quelconque une infinité de courbes de pressions compatibles avec l'équilibre et telles que la pression maxima par unité de surface soit aussi grande qu'on le voudra, et que cependant ces courbes ne prouvent en aucune façon le défaut de stabilité de la voûte;

2° Que de toutes les courbes de pressions compatibles avec l'équilibre, il y en a une, et *une seule*, qui se distingue d'une manière absolue de toutes les autres.

Et il a donné les moyens de déterminer cette courbe unique.

Il a précisé ensuite de la manière suivante la valeur que l'on doit attacher aux recherches théoriques sur les voûtes :

« Nous devons insister sur ce point capital que, dans toutes les « questions de sciences appliquées, il résulte nécessairement de l'im- « perfection de nos connaissances actuelles, qu'il faut négliger certains « ordres de phénomènes dans le secret desquels on n'a pu encore « pénétrer. Dans toutes ces questions, il faut donc distinguer entre les « éléments susceptibles d'entrer dans les équations et ceux qui se dé- « robent à toute appréciation exacte; ainsi par exemple dans la « question spéciale des voûtes, il est clair qu'on ne fera jamais entrer « dans des équations le défaut d'homogénité absolue des matériaux, « les aspérités résultant d'une taille imparfaite des surfaces, et mille « autres circonstances de l'exécution; d'autres éléments tels que la « cohésion et l'adhérence des mortiers avant ou après le décintre- « ment ne sont peut-être pas en dehors des limites possibles de la « science; mais dans le moment actuel on ne saurait leur assigner une « influence précise. »

On tient approximativement compte de l'effet inconnu de ces causes en ne faisant travailler les matériaux qu'au 1/10e de la charge qui peut les écraser.

M. Drouets adopte l'hypothèse de Bélanger, et s'appuyant sur les conséquences de cette hypothèse, il se livre à l'examen de toutes les courbes des pressions qui peuvent être compatibles avec l'équilibre et avec la résistance. Il généralise la représentation de toutes ces solutions et parvient à trouver les équations des surfaces gauches à plusieurs nappes, représentatives de ces solutions.

Il démontre que :

« Pour chaque courbe des pressions possible, il y a un certain « joint pour lequel la pression sur l'arête la plus chargée sera plus « grande que la pression analogue sur tout autre joint. »

Il arrive ensuite au point saillant de son étude qu'il expose ainsi :

« Il y a une courbe de pressions unique qui donne le minimum « *maximorum* des pressions élémentaires ....; il est impossible de « tracer dans la voûte une courbe de pressions compatible avec l'équi- « libre et dont la pression élémentaire maxima serait moindre que la « pression de la courbe unique ;

« Dans la nature, il est impossible d'admettre que la question soit « indéterminée; et en fait dans un pont existant et dont le décintre- « ment a été exécuté, il y a pour un état donné des surcharges et à « un moment donné, une courbe de pressions, et il n'y en a qu'une;

« D'un autre côté, lorsqu'une question n'est *a priori* susceptible « que d'une solution et qu'il se présente une série de solutions toutes « équivalentes et indifféremment admissibles, mais qu'il y a une seule « solution distincte des autres et complètement définie, il semble « rationnel de penser que cette solution unique sera la solution unique « de la question.

« . . . .

« . . . . Cette courbe de pressions la plus favorable, satisfait au « principe métaphysique de la *moindre action*, car c'est de tous les « systèmes d'équilibre possibles celui qui assure cet équilibre en « exigeant des matériaux le moindre effort possible et en développant

« les forces réactrices moléculaires dans la mesure nécessaire, mais « la moindre possible . . . .

« . . . . La nature ne développe les forces moléculaires de « résistance que dans la mesure rigoureusement nécessaire pour faire « équilibre aux forces extérieures agissant sur les molécules. »

Nous ne croyons pas avoir besoin de signaler à l'attention du lecteur des idées aussi remarquables et si bien exposées.

Comme application de sa méthode, M. Drouets détermine la courbe des pressions de moindre action, et fait voir qu'elle s'écarte peu du milieu des joints. (Ceci est en accord complet avec les résultats de notr théorie.)

Malheureusement la complication analytique qui surgit dans ses cal culs devient alors considérable.

Il arrive ensuite à des applications. Il se donne un projet de voû et en vérifie la stabilité. Cette portion de la méthode est laborieu comporte des tâtonnements et n'a pas été vérifiée pour les voûtes ellipse.

§ LXII. — *Existe-t-il une forme type de pont ?*

M. Drouets examine s'il n'existe pas de forme type de pont jouis du maximum de stabilité. Il affirme que non, et rappelle que M. Y Villarceau et M. Denfert-Rochereau ne sont arrivés à des formes qu'en renonçant à une ou plusieurs des conditions du maxim stabilité que voici :

1° La pression résultante devrait être constamment normale au

2° Elle devrait passer par le milieu de chaque joint ;

3° La pression par centimètre carré, uniforme sur chaque poi suite de la condition précédente, serait la même pour tous le de la voûte.

On a pu voir combien notre solution se rapproche de ces co Nous en approcherions davantage encore et pourrions même le si nous ne nous imposions pas l'intrados, et si nous voulions l par tâtonnements, selon les indications que nous fournit not unique des pressions, en refouillant légèrement l'intrados jusq la courbe unique des pressions passât au milieu de chaque

t
ie
st
a-
ur-
au

ados
plein-
à des

s, cette
ressions

ster com-

ue les ou-

un peu plus
nême montée
uations serait
de dresser des
it la détermina-

ns une (fig. 33,

n trouve dans

se toucheraient que par les points situés sur la ligne de leurs centres de gravité qui devient ainsi la ligne des centres de pressions. Il s'agit de déterminer la forme de cette voûte, de telle sorte que les pressions totales soient normales aux joints et passent par les centres de gravité des voussoirs; quand l'intrados est invariablement fixé *a priori*, le constructeur n'est pas maître d'obtenir que la courbe des pressions passe par les centres de gravité des voussoirs.

Le profil que l'auteur déduit de ses hypothèses est celui que devra prendre la voûte lorsqu'elle sera complètement chargée, et *non celui qu'elle aura sur cintre ;* on devra donc tenir compte de cette différence dans l'établissement du cintre.

M. Yvon-Villarceau fait remarquer que l'inflexion à la clef qui se produit presque toujours quand on décintre, provient très probablement, en partie, de ce que l'on effectue généralement le décintrement avant d'avoir achevé le massif et le remblai qui doivent définitivement surmonter la voûte. La charge finale aux reins est toujours considérable par rapport à celle de la clef; son absence aux reins lors du décintrement doit donc avoir pour effet de permettre (surtout alors que les mortiers n'ont fait qu'une prise incomplète), un léger relèvement de ceux-ci, et, par suite, un abaissement correspondant à la clef.

Pour sortir de l'incertitude où la science se trouve encore quant au sens réel de l'action des charges sur l'extrados, M. Yvon-Villarceau admet que les efforts exercés par le massif de remplissage et par la surcharge, se transmettent *normalement à l'extrados*. C'est une hypothèse analogue à celle de l'action des fluides.

Il démontre ensuite que l'épaisseur de la voûte doit être constante; cela tient à l'hypothèse précédente des pressions normales à l'extrados. Sous ce rapport M. Yvon-Villarceau est en divergence avec la presque totalité des auteurs.

Il considère deux espèces d'arches :

1° Les arches qu'il appelle *incomplètes :* ce sont celles dont les retombées ne sont pas verticales.

2° Les arches *complètes*, qui ont leurs retombées verticales. La voûte en plein-cintre appartiendrait à cette seconde classe, si l'auteur ne démontrait pas qu'elle ne se présente jamais dans ses solutions, parce qu'elle ne convient que pour des charges *infiniment grandes*.

La forme d'*arche complète*, genre anse de panier, est au contraire celle qui *devrait toujours être employée*, selon l'auteur. Ce résultat se comprend et tient à ce que la charge *supposée arrasée horizontalement* est toujours comparativement plus forte aux reins qu'à la clef. Le rayon de courbure aux reins doit donc être plus petit qu'à la clef, puisqu'il est sensiblement réciproque à la charge, et ceci conduit aux anses de panier. Il n'en serait certainement plus ainsi, par exemple, si les surcharges étaient arrasées en forme de toit avec un point culminant au droit de la clef.

La méthode de M. Yvon-Villarceau n'est applicable qu'aux intrados théoriques qu'il a déterminés, et si on voulait l'employer pour un plein-cintre, ou une ogive, ou pour une voûte surhaussée, on arriverait à des impossibilités.

Quand la montée et l'ouverture sont invariablement imposées, cette méthode ne permet plus qu'on se donne *a priori* la limite des pressions que l'on ne devrait pas dépasser.

D'après le même auteur :

1° Le surbaissement des arches *complètes* doit toujours rester compris entre 1/3 et 1/4, et ne point atteindre ces limites.

2° Il doit être d'autant plus voisin du tiers ou du quart que les ouvertures sont moindres ou plus grandes.

Les courbes d'intrados de M. Yvon-Villarceau sont un peu plus concaves que les arcs de cercle ou les anses de panier de même montée et de même ouverture. Leur construction selon leurs équations serait extrêmement laborieuse, si l'auteur n'avait pris soin de dresser des tables numériques qui permettent d'aborder facilement la détermination des coordonnées de ces courbes.

Ces courbes sont fort gracieuses; nous en reproduisons une (fig. 33, pl. 134), indéfiniment prolongée.

Voici quelques-uns des exemples d'application que l'on trouve dans l'ouvrage que nous analysons :

1° *Pont d'Iéna à Paris*. (En arc de cercle.)

Ouverture. . . . . 25 mètres.
Montée. . . . . 3 mètres.
Matériaux travaillant à 15 kilos par centimètre carré.

Modifiant légèrement ces données, et substituant à cet arc de cercle la courbe d'intrados de ses équations, l'auteur trouve que l'épaisseur à la clef aurait dû être. . . . . $1^m,15$,

Celle qui a été adoptée en exécution est. . . . . $1^m,25$.

2° *Projet d'arche incomplète.* — (Genre arc de cercle.)

Ouverture	45 mètres.
Montée.	5 mètres.
Matériaux travaillant à.	25 kilos.
La clef devrait avoir une épaisseur de	$1^m,85$.

3° *Projet d'arche complète à grande portée.*

(Genre anse de panier.)

Ouverture..	$60^m,07$.
Montée.	$16^m,23$.
Matériaux travaillant à.	28 kilos.
La clef devrait avoir une épaisseur de	$1^m,85$.

A la suite de ces trois exemples, viennent dans le mémoire de M. Yvon-Villarceau un grand nombre d'études critiques fort intéressantes de ponts existants auxquels il applique sa théorie. On y rencontre souvent l'obligation de changer l'une ou l'autre des données (montée, charge, ou ouverture), pour plier l'exemple choisi aux exigences de sa théorie et rendre l'application de celle-ci possible. Ce ne sont donc pas exactement les ponts nommés qu'il étudie, mais des ponts analogues, très voisins de forme, et supposés extradossés suivant les courbes de sa théorie.

C'est une obligation à laquelle l'ingénieur ne peut pas toujours se soumettre tout à fait, quelque bonne volonté qu'il y mette.

Malgré cela, cette théorie n'en reste pas moins une des plus solides et des plus intéressantes qui aient paru.

Et nous espérons que ce que nous avons pu en produire ici suffira pour faire naître chez ceux de nos lecteurs, qui ne l'auraient pas approfondie, le désir de l'étudier en entier.

Note K.

THÉORIE DE M. DENFERT-ROCHEREAU.

(Voir *Revue de l'Architecture et des Travaux publics*, année 1859.)

M. Denfert-Rochereau s'est proposé, comme M. Yvon-Villarceau, de rechercher la *forme* qui convient aux voûtes en berceau.

Mais il diffère de M. Yvon-Villarceau en ce qu'il considère les charges transmises à l'extrados de la voûte, comme *agissant verticalement*, tandis que M. Yvon-Villarceau les suppose *agissant normalement* à ce même extrados.

M. Denfert-Rochereau débute par une comparaison des méthodes de MM. Carvallo et Yvon-Villarceau. Il accorde une grande supériorité à la solution de ce dernier, qui conduit à des voûtes dont la forme, indépendante de la nature de la matière employée, caractérise l'homogénéité de la résistance; mais il repousse cependant l'hypothèse des charges exerçant une action *normale à l'extrados*, et sous ce rapport il se range aux idées de M. Carvallo. Ses développements, pages 118 à 122, pour justifier cette opinion, méritent d'être lus en entier.

M. Denfert pose comme bases de la solution à chercher :

1° Que la résultante des pressions exercées sur chaque joint devra passer par son milieu; ce qui donnera une pression uniformément répartie sur la surface.

2° Que la résultante des pressions soit normale à chaque joint; ce qui n'exigera contre le glissement l'intervention d'aucun frottement.

3° Que dans tous les joints la pression par unité superficielle soit la même; ce qui entraîne une croissance des longueurs de joint proportionnelle à l'énergie des pressions.

4° Que la pression par unité superficielle corresponde à la plus grande résistance que les matériaux sont capables de développer, sans que leur élasticité soit altérée.

Il y a, dans le problème ainsi posé, plus d'équations que d'inconnues, ce qui implique contradiction dans l'ensemble des conditions établies; on ne peut faire disparaître la contradiction qu'en sacrifiant une de ces

conditions, et c'est évidemment à la seconde qu'il faut renoncer, en gardant la condition de frottement suffisant.

Partant de là, M. Denfert-Rochereau donne l'équation de sa courbe des pressions dans l'hypothèse de matériaux indéfiniment résistants. Il passe ensuite à la courbe des pressions pour matériaux de résistance finie, au prix de calculs assez laborieux et compliqués.

Il étudie l'*accroissement d'étendue à donner aux joints par suite de la supériorité des pressions réelles sur les pressions théoriques.*

Puis « *les oscillations de la courbe réelle des pressions autour de la courbe approchée.* »

Et enfin « *le maximum des écarts entre le centre réel des pressions et le centre théorique.*

Il donne l'équation de ses courbes approchées d'intrados et d'extrados. Il démontre que, selon lui, et toutes choses égales d'ailleurs, « *les portées des voûtes varient à peu près en raison directe, et les* « *inclinaisons de leurs joints en raison inverse, des racines carrées des* « *résistances des matériaux.* »

C'est donc surtout par l'accroissement de résistance des pierres employées, que l'on devrait selon lui chercher l'augmentation des portées des ponts.

L'épaisseur à la clef et la flèche de la voûte influeraient au contraire très peu sur les accroissements de portée.

L'auteur donne ensuite une construction de sa courbe approchée des pressions :

1° Par points successifs;

2° Par une série d'arcs de cercle tangents entre eux.

Il termine son étude en énumérant les avantages résultant, pour l'établissement des projets, de l'adoption de la forme unique des voûtes qu'il propose.

De cette unité de forme découlerait comme conséquence immédiate l'établissement de règles de proportions précises, susceptibles d'être, comme les règles de l'architecture, rapportées à un **module**.

Le *module* de M. Denfert-Rochereau serait l'épaisseur de la voûte au sommet.

Ces règles de proportions peuvent être indiquées comme suit, d'une manière générale :

1° *Croissance continue des épaisseurs de la voûte mesurées suivant ses joints, du sommet aux naissances;*

2° *Rapport à très peu près constant entre les épaisseurs au sommet et les épaisseurs de deux joints également inclinés, dans deux voûtes quelconques;*

3° *Augmentation de la courbure de la voûte, à partir du sommet jusqu'à un joint incliné de* 30° *à* 35° *sur la verticale. Diminution de courbure au delà jusqu'aux naissances.*

Note L.

THÉORIE DE M. DE SAINT-GUILHEM.

SOMMAIRE. — ***Propriétés des voûtes. — Relation entre les dimensions des voûtes qui auraient même rayon d'intrados.***

M. de Saint-Guilhem établit que :

1° En augmentant l'épaisseur de la voûte, on diminue le travail des matériaux sans ajouter à la stabilité de la construction (tout choc accidentel à part et abstraction faite du frottement et de l'adhérence).

2° La forme de l'intrados doit nécessairement varier avec la charge, mais *nullement avec la résistance des matériaux*, qui n'agit que sur l'épaisseur à la clef.

3° Toutes les arches de même rayon à la clef doivent avoir, tout égal d'ailleurs, même épaisseur.

Les résultats de M. de Saint-Guilhem se rapprochent beaucoup de ceux de M. Yvon-Villarceau : il les a traduits en tableau et en formules qui en rendent l'application assez simple. Comme M. Yvon-Villarceau, c'est par points qu'il détermine la forme des intrados.

Nous n'avons pas eu l'occasion d'appliquer cette méthode. M. Decomble, dans un intéressant Mémoire, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de juin 1869, la discute et la recommande très vivement.

Nous renverrons donc nos lecteurs au Mémoire que M. de Saint-Guilhem a publié en 1859, dans le tome XVII des *Annales des ponts et chaussées.*

Nota. — M. de Saint-Guilhem a démontré que toutes les arches de même rayon à la clef doivent avoir une même épaisseur.

D'après ce théorème, l'étude de l'épaisseur à la clef des voûtes en arc de cercle pourrait être ramenée à celle des voûtes en plein-cintre de même rayon : que la portion de voûte *abcd* (fig. 31, pl. 134) repose sur ses joints *ab* et *cd*, ou qu'elle soit soutenue par des culées KK' (fig. 32), ne doit-elle pas présenter la même épaisseur à la clef dans les deux cas, si toutes les autres conditions restent les mêmes.

Si donc 2α est l'angle au centre (fig. 31 et 32, pl. 134),
r le rayon d'intrados,

l'ouverture de la voûte en arc de cercle de même épaisseur que le plein-cintre sera

$$bc = 2\,r \sin \alpha$$

et son surbaissement $\dfrac{1 - \cos \alpha}{2 \sin \alpha}$;

Si, à l'aide de ces formules, on calcule les éléments d'une série de voûtes en arc de cercle, toutes de même rayon, toutes de même épaisseur à la clef par conséquent, on formera le tableau suivant :

TABLEAU des différentes voûtes en arc de cercle, tracées avec un rayon égal à l'unité et qui devraient avoir toutes la même épaisseur à la clef; selon la théorie de M. de Saint-Guilhem.

ANGLE AU CENTRE 2α	OUVERTURE $2 \sin \alpha$	MONTÉE $1 - \cos \alpha$	SURBAISSEMENT $\frac{1 - \cos \alpha}{2 \sin \alpha}$
10°	0.174	0.004	$\frac{1}{43.5}$
20	0.348	0.015	$\frac{1}{32.2}$
30	0.518	0.034	$\frac{1}{15.2}$
40	0.684	0.060	$\frac{1}{11.4}$
50	0.846	0.094	$\frac{1}{9}$
60	1.000	0.134	$\frac{1}{7.4}$
70	1.146	0.181	$\frac{1}{6.3}$
80	1.286	0.234	$\frac{1}{5.5}$
90	1.422	0.289	$\frac{1}{4.9}$
100	1.532	0.357	$\frac{1}{4.3}$
110	1.638	0.427	$\frac{1}{3.84}$
120	1.732	0.500	$\frac{1}{3.47}$
130	1.812	0.577	$\frac{1}{3.14}$
140	1.880	0.658	$\frac{1}{2.85}$
150	1.932	0.741	
160	1.970	0.826	
170	1.972	0.913	
180	2.000	1.000	Plein-cintre.

Comme exemple de l'usage de ce tableau, citons la voûte surbaissée au 1/9ᵉ de 8ᵐ,46 de portée qui devrait avoir la même épaisseur à la clef que le plein-cintre de 20 mètres.

Les quelques observations qui précèdent peuvent n'être pas tout

à fait vraies d'une manière absolue; nous croyons cependant qu'elles méritent une sérieuse considération, et qu'elles doivent trouver souvent leur application dans les études d'avant-projet.

Note M.

THÉORIE DE M. ALFRED DURAND-CLAYE.

SOMMAIRE. — ***But du Mémoire. — Appréciation de la méthode de Méry. — Détermination de toutes les courbes des pressions compatibles avec la résistance des matériaux. — Propriétés de l'aire commune.***

M. Durand-Claye s'est proposé de préciser le rôle des courbes des pressions et de déterminer *toutes* celles qui sont compatibles avec l'équilibre et avec la résistance d'une voûte *donnée*.

Il n'essaie pas, comme M. Yvon-Villarceau, de déterminer *a priori* l'épaisseur à la clef; sa méthode a pour but de *vérifier* la stabilité d'une voûte construite ou projetée.

Voici son appréciation de la méthode de Méry :

« Ainsi, *recherche de la possibilité d'une solution d'équilibre*, voilà « quel est le véritable sens de la construction et des tâtonnements in- « diqués par M. Méry. Le tracé habituel des courbes de pression pré- « sente une sorte de vague et d'incertitude; on n'arrive à trouver une « courbe d'équilibre que par tâtonnements, en prenant arbitrairement « deux points pour déterminer la courbe, ou en faisant varier la pous- « sée en grandeur et en position...... On n'a aucune idée du *degré* de « stabilité de la voûte, puisqu'on s'arrête dès qu'*une* courbe d'équilibre « est trouvée.....

« .... Les parties faibles du profil sont indiquées avec un certain « vague; ce sont ces hypothèses et ces tâtonnements que nous cher- « chons à éviter; nous déterminons par des constructions géomé- « triques *toutes les solutions d'équilibre que peut comporter la voûte*. »

Ce but bien défini, M. Durand-Claye l'a complètement atteint. Son

Mémoire est un de ceux qui méritent le plus de fixer l'attention des constructeurs par la méthode nouvelle qu'il a introduite dans l'étude des voûtes. Il est, avec M. Drouets et avec M. Peaucellier, le seul, à notre connaissance, qui ait généralisé les solutions des courbes des pressions en indiquant toutes celles qui sont possibles dans une voûte déterminée.

Comme presque tous ses devanciers, M. Durand-Claye admet la loi de Bélanger sur la répartition des pressions élémentaires.

Il s'en sert pour déterminer à la clef et en un joint quelconque toutes les poussées et toutes les pressions qui sont *compatibles avec l'équilibre seul, la résistance des matériaux étant d'abord supposée illimitée.*

Il détermine ensuite toutes celles qui sont *à la fois* compatibles avec l'équilibre et avec une résistance *limitée* R, et il arrive alors *à tracer* à la clef, pour un voussoir quelconque, *mngh* (fig. 34, pl. 134), une surface telle que *abcd* qui jouit de la propriété suivante :

Toute poussée, normale au joint de clef, dont l'origine n'est point dans la surface *a b c d*, est incompatible avec l'équilibre ou avec un travail convenable des *matériaux.*

Opérant ensuite de même pour chaque voussoir, *mnjk*, *mnrs*, etc. (toujours compté à partir de la clef), il trouve une série d'aires *abcd* (une aire pour chaque joint), qui se recouvrent partiellement.

S'il arrive que toutes ces aires aient une portion commune, les poussées qui prendront leur origine dans cette portion seront évidemment compatibles avec l'équilibre et avec la résistance dans *tous* les joints.

Cette aire commune est donc de nature à indiquer la mesure de la stabilité de la voûte :

1° Si l'aire commune est grande, la voûte comporte de nombreuses solutions d'équilibre.

2° Si elle est nulle, il n'y a aucune courbe des pressions possible : la voûte est instable.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur cet intéressant Mémoire; mieux vaut y renvoyer nos lecteurs.

Cette méthode est commode pour *vérifier* la stabilité d'une voûte; mais elle n'apprend pas quelle est celle des courbes des pressions possibles qui s'établit réellement dans la voûte; et, sous ce rapport,

elle est peut-être moins avancée que celle de M. Drouets, avec laquelle elle paraît d'ailleurs avoir plus d'une analogie.

La méthode Durand-Claye est entrée dans la pratique de beaucoup d'ingénieurs. Elle a conquis d'emblée une importante place dans la vérification des projets : elle le doit à sa simplicité.

Elle est toute graphique.

Son auteur en a étendu l'application aux arches métalliques.

Note P.

TRAITÉ DE LA STABILITÉ DES CONSTRUCTIONS
PAR LE Dr SCHEFFLER.

SOMMAIRE : — ***Principe de la moindre résistance. — Propriétés des courbes de pression. — Courbe de maximum. — Courbe de minimum. — Hypothèse sur la dureté des matériaux. — Profil convenant aux tunnels. — Voûtes à moitié dissemblables ou dissemblablement chargées. — Tables.***

La théorie du docteur Scheffler est basée sur le *principe de la moindre résistance*, énoncé pour la première fois par Moselay en 1863. Nous avons vu plus haut que M. Drouets paraît s'être également inspiré du même principe.

En voici l'énoncé :

« Parmi tous les groupes de forces d'une même classe, celui-là seul « est possible pour lequel, en vertu des propriétés physiques du sys« tème, les composantes perpendiculaires à la direction de la résul« tante totale, sont un minimum. »

M. Scheffler donne de ce principe une démonstration autre que celle de Moselay et l'applique à l'étude de quelques exemples. (Équilibre d'un coin entre deux plans inclinés, stabilité d'un wagon sur les rails, etc.), destinés à le bien faire comprendre.

Il expose ensuite très complètement les propriétés des courbes des pressions *dans l'hypothèse d'une résistance illimitée des matériaux*.

Courbe des pressions répondant à une poussée nulle.

M. Scheffler fait remarquer que si l'on prolonge (fig. 35, pl. 134) chacun des plans de joint jusqu'à sa rencontre avec la verticale du centre de gravité du voussoir compris entre la clef et ce joint, on obtient une *courbe qui représente la courbe des pressions qui répondrait au cas où la poussée à la clef serait nulle*, et par conséquent où le point d'application de cette poussée nulle serait indéterminé.

Aucune courbe des pressions ne peut avoir aucun de ses points au-dessous de cette courbe *a b* (fig. 35).

Si la voûte était assez épaisse pour que cette courbe *a b* fût contenue tout entière dans le profil de la voûte (fig. 36), il ne serait besoin d'aucune force horizontale au sommet pour maintenir l'équilibre. C'est ce qui se produit quand on pose les premiers voussoirs d'une arche à retombées verticales dont les premières assises, jusqu'au joint de 30° environ, peuvent former une portion d'arc de voûte sans poussée.

M. Scheffler pose ainsi le problème qu'il veut résoudre : « Parmi « toutes les courbes des pressions possibles, pour lesquelles la voûte peut « rester en repos, et qui, par conséquent, ne sortent jamais de la « voûte, trouver celle pour laquelle la poussée Q à la clef est un mini- « mum, et qui, d'après le principe de la moindre résistance, sera la « véritable. »

L'auteur suppose les voussoirs incompressibles et indéfiniment résistants ; *il rejette l'hypothèse de Bélanger* pour ne tenir ensuite compte que d'une manière empirique de la résistance par centimètre carré.

Nous verrons à la fin de cette note à quels résultats peu pratiques il se trouve ainsi conduit.

La courbe des pressions qui répond à un maximum des poussées ou celle qui répond à un minimum, doit, d'après M. Scheffler, sans sortir de l'épaisseur de la voûte, avoir un point commun avec l'extrados et un avec l'intrados (toujours dans l'hypothèse de matériaux d'une dureté illimitée) et un tel point, s'il n'est ni à la clef ni aux naissances *est nécessairement un point de contact.*

Quand le point de contact extrados est plus haut que le point de contact intrados, la courbe des pressions dont il s'agit répond à un *minimum* de la poussée (fig. 37, pl. 134).

Quand le contraire se présente, la courbe des pressions répond à un *maximum* de la poussée (fig. 38, pl. 134).

A la page 55 de son ouvrage, après avoir étudié les tracés des courbes des pressions et cherché à quelles conditions elles doivent satisfaire pour assurer toute la stabilité, l'auteur ajoute :

« La mise en œuvre analytique de ces conditions conduit à des cal-
« culs pénibles et exige, dans certains cas, la résolution d'équations
« transcendantes ; on devra donc, dans la pratique, se dispenser d'em-
« ployer les méthodes analytiques rigoureuses et se contenter, dans
« tous les cas, d'approximations graphiques ; les applications ne com-
« portent d'ailleurs nullement des déterminations mathématiques. »

Nous sommes entièrement de cet avis, et l'on a vu que nous nous sommes attachés, dans notre Mémoire, aux seules solutions graphiques.

« S'il arrive que la forme de l'intrados soit indifférente, dit M. Schef-
« fler, on fera bien de faire en sorte qu'une courbe de pressions pas-
« sant par les milieux des joints soit possible, attendu qu'on aura ainsi
« une voûte d'une stabilité aussi grande et aussi uniforme que possible,
« et une répartition des pressions sur les joints aussi uniforme que pos-
« sible également......; une telle courbe rencontrera la culée oblique-
« ment et non verticalement ; elle ressemble beaucoup à une parabole
« dont le sommet serait à la clef, surtout dans le cas d'un arc sans
« tympans. »

On lit ensuite, page 73 :

« La résistance des matériaux employés n'est pas la même pour di-
« vers ponts ; mais, *faute de renseignements suffisants sur cette ré-*
« *sistance* (*), on a été obligé de ne pas tenir compte de cette diffé-
« rence, *ce qui n'a pas, en pratique, de grand inconvénient.* »

Il est difficile de partager ces idées quand on a pu voir plus haut qu'il existe des ponts où la pierre travaille à 1k,500, et d'autres ou la pression atteint 46 kilos et plus.

Un ingénieur ne peut rester indifférent à de pareils écarts de résistance pour peu qu'il ait souci de l'économie et de la bonne conception

1. Voir ci-dessus, page 192, les chiffres que nous donnons à ce sujet et qui prouvent surabondamment que ces renseignements ne manquent plus aux Ingénieurs.

de ses projets. A défaut d'expériences antérieures, il n'est aucun ingénieur qui ne préfère procéder à des essais directs des pierres dont il dispose, plutôt que d'aller à tâtons admettre une moyenne applicable à *tous les ponts*, sans acception d'ouverture.

L'auteur passe ensuite à l'examen d'un certain nombre de ponts dont il vérifie la stabilité par sa méthode.

La courbe des pressions qu'il indique pour la voûte du tunnel de la Tamise ressemble beaucoup à un arc d'ellipse qui aurait pour demi-grand axe les deux tiers de la hauteur de la voûte.

Vient ensuite une longue étude de la résistance au glissement.

Le chapitre second est entièrement consacré à l'examen des voûtes dont les deux moitiés seraient dissemblables ou dissemblablement chargées et auxquelles l'auteur paraît attacher une grande importance ; à l'étude des voûtes d'arêtes, des voûtes en arc de cloître, des coupoles, etc., etc. Ces sujets sont traités avec de grands développements et très intéressants.

Le chapitre troisième est un résumé critique des théories les plus connues de Lahire, d'Estelweyn, de Coulomb, Méry, Carvallo, Yvon-Villarceau et Denfert-Rochereau. Nous renvoyons à cet intéressant chapitre, surtout en ce qui concerne l'examen des théories de MM. Carvallo et Yvon-Villarceau.

Le chapitre quatrième est consacré aux tables dressées pour l'application de la méthode de M. Scheffler; elles sont établies pour des cas tout particuliers, avec des matériaux durs supportant $13^k,5$ à la clef et $20^k,25$ aux naissances. Elles n'admettent que des surcharges horizontales; elles ne comprennent que le plein-cintre, l'arc surbaissé au quart de l'arc et au tiers ; *des voûtes en ellipse ou en anse de panier, il n'est pas question.*

On lit, dans ce chapitre, que pour une même ouverture, les épaisseurs à la clef seraient les mêmes pour le plein-cintre, pour l'arc surbaissé au tiers et pour l'arc au quart. Nous ne croyons pas que beaucoup d'ingénieurs se contentent de cette approximation.

Note R.

MÉMOIRE SUR LES CONDITIONS DE STABILITÉ DES VOUTES EN BERCEAU, PAR M. PEAUCELLIER, colonel du génie.

(*Mémorial de l'officier du génie*, 1875.)

M. Peaucellier signale d'abord l'intérêt qu'il y aurait à connaître le véritable mode d'action des surcharges. *Il admet l'action verticale :* il conseillerait cependant d'étudier les voûtes avec l'hypothèse de l'action verticale et ensuite de l'action normale à l'extrados, pour admettre l'hypothèse qui donnerait les résultats les plus défavorables (voir ses conclusions détaillées à la page 191 de son Mémoire). Il démontre que, dans toute voûte existante, *la réaction mutuelle de chaque plan de joint forme, avec la normale à ce plan, un angle inférieur à l'angle de glissement des maçonneries;* et en second lieu, que la courbe des pressions tout entière est comprise dans l'épaisseur de la voûte.

Il admet l'emploi de matériaux, d'une dureté illimitée, sauf ensuite à modifier les conséquences de cette hypothèse, alors qu'on se trouvera en présence de matériaux d'une résistance limitée.

La méthode de M. Peaucellier est une méthode de vérification analogue à celle de M. Durand-Claye.

Considérant une demi-voûte en équilibre, M. Peaucellier prend une poussée quelconque P donnant une courbe des pressions contenue dans le massif, et il cherche à quelles conditions géométriques doivent répondre les grandeurs minima de la poussée P pour que l'équilibre de la voûte, de stable qu'il était, devienne instable. Il trouve que P atteint son minimum quand, pour un joint quelconque, la réaction mutuelle se produit sous l'angle de glissement, ou quand la courbe des pressions est sur le point de franchir la limite que lui trace la ligne d'extrados.

Il représente graphiquement les poussées minima pour chaque point du joint de clef, et il obtient les trois lieux géométriques suivants :

1° Une ligne droite parallèle au joint de clef et relative au glissement.

2° Une hyperbole répondant aux valeurs minima des pressions qui feraient passer la courbe des pressions par l'intrados au joint des naissances.

3° Une courbe transcendante pour les valeurs minima de P, qui donneraient des courbes des pressions tangentes à l'intrados.

Quand ces lignes sont séparées, on doit prendre la plus éloignée du joint de clef; quand elles se coupent, on ne conserve que la partie la plus éloignée de chacune d'elles.

Des considérations semblables conduisent à une ligne représentative des poussées *maxima*.

Si la ligne des poussées maxima et la ligne des poussées minima sont externes l'une à l'autre, les poussées maxima étant toutes supérieures aux poussées minima correspondantes, alors tous les points du joint de clef donnent lieu à des courbes des pressions, et la voûte est stable.

Si ces deux lignes sont encore externes l'une par rapport à l'autre, mais dans une position inverse de la précédente, l'équilibre ne saurait exister.

Si les deux lignes précitées se coupent, une partie seulement du joint de clef peut répondre au point d'application de la poussée.

Voilà, en quelques mots, le principe de cette méthode. On peut remarquer son analogie avec celle de M. Durand-Claye.

M. Peaucellier donne les développements relatifs à la détermination de ses lignes représentatives des poussées, et il fournit à ce sujet des solutions graphiques très élégantes.

Il arrive ensuite à compléter ses constructions par l'examen des modifications que la considération de la *résistance limitée* apporte aux conditions d'équilibre de la voûte. *Il admet, à cet effet, la loi du trapèze*, qu'il met sous une forme particulière, et il repasse par les mêmes considérations qu'au début de son travail, pour les appliquer au nouveau problème à résoudre. Il parvient ainsi à donner la valeur de la correction que chacune des poussées minima ou maxima, précédemment déterminées dans l'hypothèse de la dureté infinie, doit subir pour le cas où les matériaux n'ont qu'une dureté déterminée.

L'aire représentative à laquelle il aboutit enfin à la clef, donne

le degré de stabilité de toute sa voûte, et indique ses points dangereux. Une seule aire lui suffit pour cela.

Dans la méthode de M. Durand-Claye il faut autant d'aires que l'on veut étudier de joints.

M. Peaucellier termine son Mémoire par des exemples choisis dans la pratique des constructions du génie.

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

NOTE

SUR

LA VERRERIE ET LA CRISTALLERIE

A L'EXPOSITION

Par M. CLEMANDOT.

La classe 19 du groupe III, comprenait à l'Exposition de 1878, la Verrerie et la Cristallerie, plus les Vitraux et la Miroiterie.

Il y avait pour la France 86 exposants, verriers proprement dits, et 52 peintres verriers ; en tout 138 exposants. En Belgique 33 exposants ; en Angleterre 21 ; en Autriche 21 ; en Italie 19 ; aux États-Unis 3 ; en Suède 1, etc., etc. Le nombre des exposants de la classe 19 était donc de 250 à 255, dans lesquels sont compris environ 68 peintres verriers.

On a pu s'étonner, à bon droit, de voir figurer dans la classe 19, la Miroiterie et les Vitraux peints, les premiers rentreraient plutôt dans la classe de l'ameublement, les seconds dans les beaux-arts. Je déclare, quant à moi, mon incompétence relativement à ces deux catégories d'exposants, et je ne viens vous parler ici que des verriers, c'est-à-dire de ceux qui transforment les produits naturels en produits vitreux, en nous arrêtant aussi, sur les procédés de coloration, de décoration, qui donnent au verre des aspects si divers et des applications si étendues.

Je ne viens pas ici, comme en d'autres circonstances, faire pour ainsi dire un cours de verrerie, vous savez tous que le verre est un composé de silice qui est censé jouer le rôle d'acide, acide silicique, que l'on combine avec les bases, la chaux, la soude, la potasse, le plomb, et qui forme ce produit si merveilleux qui, grâce à sa transparence, *est*, pour ainsi dire *sans être*, puisqu'il laisse passer les rayons lumineux, qu'il peut fermer nos maisons, tout en laissant

passer la lumière, qu'il peut fournir des vases à travers lesquels on voit se passer les opérations chimiques; des tubes à travers lesquels on voit, comme dans les baromètres, les thermomètres, les niveaux d'eau, monter les liquides; des lunettes avec lesquelles nous pouvons voir le mouvement des astres et les phénomènes célestes; enfin une substance qui peut imiter les perles, les pierres naturelles, même le diamant. Cette énumération vous suffit, je pense, pour vous faire comprendre l'importance du verre, et la place qu'occupe dans la technologie la fabrication de ce produit.

Comme je l'ai déjà dit, le verre est la combinaison de produits naturels, pour ainsi dire sans valeur, et tout son prix gît dans les moyens matériels et artistiques employés à sa fabrication.

La première condition à remplir pour dissoudre la silice, pour fondre le sable, en le combinant aux bases, est de produire des températures très élevées; pour cela il faut des fours, des creusets, en produits assez réfractaires pour qu'ils puissent résister sans se fondre eux-mêmes aux hautes températures qu'il s'agit de produire. Sous ce rapport c'est, comme l'a dit M. Péligot (le savant rapporteur de toutes les Expositions), l'Exposition de 1867 qui a eu le privilège de compter au nombre des améliorations apportées dans cette branche de l'industrie, les plus grands perfectionnements, c'est-à-dire l'emploi des combustibles transformés en gaz, autrement dit les fours Siemens. C'est à Ebelmen que l'on doit les prémices de cette invention, Siemens le savant, l'éminent Ingénieur, a eu, on peut dire, la gloire de réaliser par un appareil pratique cette belle conception; et la plupart des grands établissements de verrerie, comme de métallurgie, emploient ces appareils, qui ont l'avantage de régler d'une manière économique et régulière les hautes températures qu'il s'agit de produire, et qui sont la base de l'industrie verrière; d'autres appareils, les Récupérateurs Ponsard, Gaillard et Haillot ont modifié cette partie des fours appelés récupérateurs, où l'air qui doit être employé à la combustion se trouve porté par la chaleur perdue à une température élevée, mais ce ne sont que des dispositions de calorifère qui ont trouvé dans certains cas des applications utiles, mais qui n'existeraient pour ainsi dire pas, si Siemens n'avait pas existé. Constatons cependant à l'avoir de cette exposition, l'emploi des fours continus de Frédéric Siemens de Dresde qui, cherchant à pousser à sa dernière limite le système de William Siemens de Londres, est parvenu à faire des fours continus à bassins, dans lesquels, on peut

le dire, l'idéal de la fabrication du verre est pour ainsi dire réalisé. Dans la cuvette remplaçant les creusets, on renfourne d'un côté, pendant que le verre fondu est travaillé de l'autre. M. Richarme de Rive-de-Gier, avec lequel je suis allé voir le four de Dresde, n'a pas hésité, malgré toutes les difficultés que présente ce système, à l'appliquer dans ses verreries de la Loire, et les produits exposés par ce fabricant, Membre du Jury, ont été obtenus dans ces conditions. Quelques difficultés de détails restent encore à résoudre, personne plus que M. Richarme, par sa persévérance et son intelligence, n'était à même d'entreprendre la solution d'une question qui, lorsqu'elle sera résolue, révolutionnera d'une manière économique la production de la bouteille et même du verre à vitre qui doivent, par leur emploi considérable, être vendus au plus bas prix possible.

Ces préliminaires établis, je passe à l'examen des diverses expositions verrières, en France et à l'étranger, en commençant par la Cristallerie; et à tout seigneur tout honneur, comme on dit; la Cristallerie de Baccarat, représentant dans la classe 19 l'exposition la plus remarquable, a reçu la plus haute récompense, le grand prix; ces usines, fort anciennes déjà, fournissent au monde entier leurs produits magnifiques, et leur chiffre de vente annuelle se monte à 7 millions de francs.

Nous avons été frappé dans l'exposition de Baccarat, de la blancheur du cristal et de la variété infinie des formes, des tailles, des gravures qui viennent ajouter à ces produits qui ne dépassent pas un prix de 2 à 3 fr. le kilog. comme matière fondue, une valeur considérable. L'habileté de nos ouvriers verriers français est incontestable, et ce que nous pouvons dire sous ce rapport, se rapporte aussi bien aux Cristalleries de Clichy et de Pantin, qu'aux Cristalleries de Baccarat. Ces trois établissements hors ligne, ne sont pas dépassés par les produits similaires de l'Autriche ni de l'Angleterre. Si les Cristalleries où se fabriquent les verres à base de plomb, ont pour objectif de produire les aspects du diamant avec son pouvoir réfringent, les Verreries ont pour but d'arriver à imiter le cristal de roche, matière si blanche, si pure que vous connaissez. Aussi comme formes, comme taille et comme gravure, avons-nous trouvé partout le désir d'arriver à l'imitation la plus complète possible des cristaux de roche anciens qui figurent dans les musées d'Allemagne, du Louvre, etc., etc.

J'arrive à un point difficile et délicat à traiter, c'est la question si

controversée de savoir si, oui ou non, le cristal anglais est définitivement supérieur au cristal français. Nous n'hésitons pas à répondre, que depuis 1867, les fabricants Français ont fait sous ce rapport un progrès tel, qu'il est bien difficile d'accorder une préférence à l'un ou à l'autre. Nous avons plusieurs fois comparé des cristaux anglais et français, en les plaçant les uns à côté des autres, et en mettant de côté toute espèce de question d'amour-propre national, nous devons dire que nous n'avons pu trouver aucune différence. Les formes n'étaient pas les mêmes, les tailles différentes, ce qui rend toujours les comparaisons difficiles, mais en résumé on peut dire que chacun dans son genre est d'une pureté, d'une limpidité remarquables ; l'aspect du cristal anglais n'est pas le même que celui du cristal français. Le cristal anglais représente absolument la glace, l'eau congelée, dans sa transparence, même dans son aspect un peu bleuâtre, et, disent les Anglais, la glace est bien le produit naturel qu'ils se proposent de reproduire. Sous ce rapport nous devons reconnaître qu'ils y arrivent. Quant au cristal français, il est plus blanc, et même quelquefois d'un ton un peu rosé, dont l'aspect est aussi plus agréable, il s'en suit que c'est au goût de l'acheteur à décider et qu'en thèse absolue il est difficile de se prononcer entre deux produits qui ne sont pas absolument identiques. On a cherché à expliquer, à trouver la théorie des conditions dans lesquelles le cristal anglais est produit ; pour nous, tout réside dans la pureté des produits, de la silice, par exemple, et sous ce rapport les sables d'Amérique présentent peut-être encore plus de pureté que les nôtres ; je crois aussi, que la pureté des plombs, l'absence de fer ou de cuivre, leur oxydation très complète, la finesse très grande du minium, doivent être une des conditions les plus essentielles à remplir pour faire un silicate double de plomb et de potasse, *le cristal*, complètement blanc. Si nous ajoutons que les cristaux anglais sont admirablement taillés et polis, que les Anglais s'arrangent toujours pour que les tailles soient vues plutôt de l'intérieur que de l'extérieur, nous aurons, je pense, trouvé le secret de l'admiration que l'on éprouve à l'examen de certaines pièces anglaises. Ne quittons pas la Verrerie de luxe, je parle du verre incolore, sans nous arrêter aux produits Autrichiens si remarquables, de M. Lobmeyr de Vienne ; blancheur, limpidité, pureté de formes, richesse de décors ; personne, je crois, ne peut mettre en doute que si M. Lobmeyr n'eût pas fait partie du Jury, il eut aussi obtenu un grand prix.

Décors des verres et des cristaux. — Nous sommes obligé de nous borner; mais rien que cette partie décorative du verre nous entraînerait au delà des limites que nous nous sommes assignées. N'avons-nous pas vu à Baccarat, à Pantin, à Clichy surtout, des colorations d'une pureté, d'une richesse remarquables. Nous devons le dire, sous ce rapport les étrangers sont loin de nous égaler. A Pantin, n'avons-nous pas vu l'aventurine, cette substance que pour la première fois la France a su produire à l'égal de Venise qui, seule jusqu'à présent, avait le monopole de cette fabrication. On sait que l'aventurine est la réaction de deux verres — l'un contenant le fer, au minimum d'oxydation, sur un silicate de cuivre au maximum. La réaction du verre de fer, amène la réduction du verre de cuivre, lequel cristallise en octaèdres d'un brillant qui rappelle l'aspect de l'or. Dans un travail présenté à l'Académie, il y a plus de vingt ans, en collaboration avec M. Frémy, nous avons pu montrer l'aventurine de Venise, mais nous ne nous étions livrés qu'à un véritable travail de laboratoire; aujourd'hui, M. Monot produit l'aventurine en blocs, ce qui démontre une fabrication et une production assurées à l'aide de tours de mains qui sont le secret du fabricant. La fabrication de l'aventurine est donc une des conquêtes de la Verrerie française, à l'Exposition de 1878.

J'abrège, car comment passer en revue une diversité aussi grande de produits? Il faudrait un volume pour ne rien omettre. Vous parlerai-je des verres irisés de l'Angleterre et de l'Autriche? Ce produit n'a pas encore été fabriqué en France, et déjà on peut dire qu'il est passé de mode. Les uns disent que ces irisations, ces colorations qui rappellent les interférences lumineuses des bulles de savon, sont produites par la réaction de l'acide chlorhydrique sur des verres de certaine composition; d'autres disent que c'est en soumettant le verre encore chaud à l'action de vapeurs rutilantes, analogues à celles des feux de Bengale, que cet effet est produit; nous aimons mieux dire que nous ne connaissons pas exactement le procédé employé.

Quoique je sois l'auteur, avec M. Frémy, du verre *nacré-irisé*, je parlerai légèrement de ce produit, qui n'a pas encore atteint les perfections que nous voulons obtenir, mais qui, cependant, a attiré l'attention de tous les visiteurs de l'Exposition, parce que l'on a compris le but que nous voulions atteindre, la reproduction des beaux spécimens de verres antiques irisés, ou même la nacre naturelle.

Ces verres nouveaux sont obtenus, vous le savez, par la réaction de

l'acide chlorhydrique sous une pression de 5 à 6 atmosphères. Mais bien des conditions difficiles et particulières sont à remplir dans la composition des verres soumis à ces réactions !

Émaux. — Nous ne voulons pas quitter les verres colorés sans parler des émaux qui ont été présentés à l'Exposition de 1878 par MM. Appert et Guilbert Martin, sous l'aspect le plus satisfaisant : que de variétés dans ces baguettes, dans ces galettes de verre, dans ces imitations de pierres précieuses, de corail, etc., etc. Aussi considérons-nous comme très méritants ces industriels chez lesquels viennent s'approvisionner tous ceux qui se servent d'émaux : les faïenciers, les peintres-verriers, les souffleurs à la lampe, tous ceux qui, dans cette industrie parisienne, ont besoin des imitations de pierres naturelles, des turquoises, des rubis, etc. Il fallait, dans le temps, aller chercher en Bohême, à Venise, nos émaux pour cadrans, pour l'émaillage en général, même pour la fabrication des mosaïques, que l'on n'est plus, comme autrefois, obligé d'aller chercher en Italie, à Rome, à Venise, etc. Grâce aux perfectionnements apportés par nos fabricants français, ce sont, au contraire, ces pays qui sont maintenant tributaires de la France ; voilà un véritable progrès à signaler.

Nous sommes obligé de passer très vite sur la verrerie proprement dite, celle qui fabrique le verre à base de chaux et de soude, ou de potasse, quelquefois ces deux alcalis mélangés. Ici on a fait de très grands progrès : les verreries de Portieux, de MM. Aubriot, Rousseau, à Clairey (Vosges), de Schmidt du Houx, à Fains (Meuse), sont d'une blancheur incomparable, et ces produits si remarquables font souvent, nous devons le dire, une concurrence redoutable au cristal.

Bouteilles et verres à vitres. — Nous ne dirons qu'un mot de ces produits, qui sont représentés par les fabricants les plus habiles : Aniche, Renard de Fresnes, Chartier de Douai, de Violaine de Vauxrot, les verreries d'Hirson, d'Édouard Roulet, du Havre, etc., de Blanzy (Saône-et-Loire), d'Épinac, etc. Nulle part la France n'est surpassée. La Belgique produit des quantités considérables de verres à vitres, mais comme qualité, comme blancheur, les verreries françaises ont une grande supériorité. Qui n'a vu la pureté des manchons de dimensions hors ligne de M. Léon Renard, des verreries de Fresnes ?

Avant de passer à nos grands établissements de glacerie, permettez-moi de vous dire un mot des industries décoratives qui ont fait de grands progrès. Je veux parler de l'émaillage sur verre qui nous montre ces reproductions admirables des produits anciens hispano-arabes, etc. Les Brocard, les Psulb, les Gallé de Nancy, nous montrent, sous ce rapport, des résultats que vous n'aurez pas été sans remarquer. Enfin, ne devons-nous pas dire un mot de la décoration des verreries, des glaces, des verres à vitres par l'acide fluorhydrique. Devons-nous oublier de citer les Kesler, les Bitterlin qui, par les procédés les plus ingénieux, ont trouvé le moyen de graver les verres en mat, en demi-mat, en clair, de façon à produire, par des effets de dépoli et par des dégradations de tons habilement ménagées, des modelés, des dessins du plus grand fini, qui donnent aux architectes des moyens de décoration offrant le plus bel aspect.

Glaces. — J'ai hâte d'en arriver aux glaces, c'est-à-dire à l'une des fabrications qui présentent le verre sous l'aspect le plus grandiose. La Belgique, Aniche, Jeumont, nous ont montré des glaces fort belles, de belles dimensions, à n'en pas douter ; mais que dire des produits de Saint-Gobain? Quant à moi, je ne trouve pas d'expressions pour peindre l'effet que j'ai éprouvé à me figurer la nappe de glace, sans défaut, d'une limpidité et d'une transparence absolues, qu'il a fallu couler pour avoir une surface de $26^{m},50$ carrés. S'imagine-t-on ce flot de verre pur coulant sur une table de bronze, ce rouleau laminant cette pâte sur une largeur de plus de 4 mètres et de plus de 6 mètres de longueur, les moyens de dégrossissage, de polissage ; comprend-on les précautions que l'on a dû prendre pour manœuvrer, retourner, transporter par chemin de fer une pareille masse de verre fragile et, par conséquent, dangereuse à manier! Il faut, pour arriver à de semblables résultats, des établissements, des Compagnies puissantes ; mais il faut aussi des ingénieurs, des hommes bien capables, des Biver, pour résoudre de semblables difficultés ; ce sont nos amis, c'est pourquoi je n'oserais pas insister davantage sur leur mérite. Ces hommes habiles qui savent manier le verre, conme nous l'avons dit, en font des miroirs de 600 kilogrammes, des tuiles, des pavés, des plaques sur lesquelles peuvent passer les charges les plus lourdes. Et qui n'a vu les plafonds en verre du Crédit lyonnais, où deux étages superposés se trouvent de la sorte éclairés? Pas un morceau de verre, depuis cette

construction, n'a été brisé ; c'est, il faut le dire, l'inauguration la plus complète de l'emploi du verre dans les constructions.

Je dois dire un mot, avant de quitter les glaces, des procédés d'argenture qui ont remplacé les procédés au mercure, se produisant beaucoup plus rapidement, et évitant l'inconvénient immense d'être nuisible aux ouvriers qui pratiquent cette opération. On sait que c'est par la réduction des sels d'argent que ce métal blanc et brillant se trouve déposé sur la glace.

J'arrive à ce qui est, on peut le dire, la plus grande nouveauté figurant dans la classe 19 ; je veux vous parler du verre trempé. Déjà au début de cette découverte, je vous en ai entretenu ; je dois dire qu'en présence des résultats contradictoires à cette époque, j'étais hésitant. Depuis, les grands perfectionnements apportés à cette production par des ingénieurs habiles m'ont amené à être convaincu que cette fabrication avait un avenir certain. On m'a dit, par exemple, que de grands restaurants n'employaient plus que des objets en verre trempé, et qu'il en était résulté pour eux une économie considérable ; si cela est, ne peut-on pas dire que l'industrie du verre trempé est arrivée à être résolue pratiquement, c'est-à-dire *au point de vue* commercial, mais ce n'est jamais à ce *point de vue* particulier que je me suis occupé de la question du verre trempé, mais bien au point de vue scientifique, car je crois que de cette étude il résultera quelque chose d'instructif relativement à l'opération, on peut dire si mystérieuse de la trempe de l'acier. Permettez-moi donc de vous parler, à ce sujet, des phénomènes que j'ai pu étudier à Saint-Gobain, grâce à l'extrême obligeance des directeurs de ces beaux établissements. Je me suis proposé de voir quelle influence aurait la température du bain de trempe sur le verre présenté sous une même forme, et la forme que j'ai adoptée est la *larme batavique;* j'ai pensé que ces larmes, produites dans des conditions différentes, étaient des objets comparables entre eux, et ce sont les résultats obtenus dans ces comparaisons diverses que je viens vous soumettre rapidement.

1° Voici les larmes bataviques produites dans l'eau froide ; elles se brisent si j'en brise la queue.

2° Voici des larmes bataviques produites dans l'huile chaude de 120 à 130 degrés de température.

Alors la larme n'est plus la même ; je peux, si j'arrive à rompre la

queue à une certaine distance du corps, briser cette queue sans que la rupture du corps de la larme s'en suive brusquement.

Enfin, voici des larmes faites en jetant du verre liquide dans du nitrate de potasse fondu, à 400° environ, nous avons alors des larmes dont la queue peut être brisée sans jamais entraîner le surplus de la larme en arrivant près du corps, c'est à peine si nous pouvons, en employant toute notre force, briser cette queue, et quant au corps, nous pouvons dire que nous sommes arrivé au véritable verre incassable, car c'est à peine, si en frappant à grands coups de marteau, je peux arriver à briser le verre. Voilà donc, si je ne me trompe, le véritable verre incassable trouvé; et j'en tire cette conséquence, c'est que pour arriver à la plus grande solidité du verre, il faut le tremper dans un bain le plus chaud possible afin qu'il y ait entre le verre et le bain de trempe le moindre écart possible de température. Je livre ce résultat à vos réflexions.

Je dois vous parler des verreries de Venise, si brillamment représentées à l'Exposition par les Cies de Murano, par les Salviati, et aussi par ce grand nombre de fabricants Italiens, où l'on retrouve ces perles, ce verre filé, qui est une des spécialités de Venise. Nous avons vu dans les Expositions spéciales des Salviati et de la Compagnie du Murano, la reproduction des verres chrétiens, bysantins et autres, qui sortent absolument, par la méthode employée pour les fabriquer, des méthodes suivies pour la fabrication de nos verres ordinaires. C'est donc à Salviati, à cette Compagnie puissante du Murano, que nous devons la renaissance de cet art ancien qui avait été, nous ne dirons pas perdu, mais négligé; à d'autres qu'à nous, de décider, de juger, à qui doit être rapporté l'honneur de cette renaissance, nous constatons le fait, et nous devons nous réjouir d'avoir pu admirer à l'Exposition de 1878 des produits vénitiens, dont la perfection ne le cède en rien à celle des produits de même nature qui font l'ornement de nos musées.

Je dois vous parler aussi d'un produit particulier, auquel nous donnons le nom de *soie de verre* produit, dit-on, par un filage tout particulier du verre, exécuté à Vienne (Autriche), par madame de Brunfaut, la veuve d'un Français transplanté dans ce pays. La finesse de ces fils de soie est telle qu'ils mesurent de 4 à 6 *dix-millièmes* de millimètre. Nous croyons, quant à nous, à l'application à certains usages de ce produit floconneux, nuageux, et nous étudions, en ce moment même, cette application au point de vue de la diffusion de la lumière électrique, en

nous en servant, pour former de véritables *nuages* destinés à tamiser, à diffuser la lumière, dans des conditions analogues, où les nuages qui flottent dans l'air, diffusent la lumière du soleil. Ce produit n'est pas le même que la *laine du verre* ou de scorie, employée à envelopper les tuyaux de vapeur, pour empêcher leur refroidissement. Celle-ci est produite, par un jet d'air ou de vapeur sur un verre liquide et coulant, ainsi que cela se produit accidentellement quelquefois par le jet d'air des tuyères des hauts fourneaux sur les laitiers. Cette laine est courte, épaisse, grossière, si on la compare à cette soie si fine, dont j'ai parlé plus haut.

Nous avons aussi trouvé dans l'Exposition anglaise, des bouteilles fabriquées en utilisant les scories des hauts fourneaux ; ce procédé porte le nom de *procédé Britten*. Cette fabrication repose sur la juxtaposition à un haut fourneau, d'un four de verrerie, de manière à pouvoir retirer la scorie liquide, chaude par conséquent, pour l'introduire dans le four de verrerie, en y ajoutant toutefois les éléments silice, fondants, qui peuvent manquer pour former le verre. Les Inventeurs attribuent aux résultats qu'ils ont obtenus, deux avantages : l'économie de combustible et l'économie dans les matières; de plus, en comparant le résultat obtenu à la composition des verres ordinaires, ils disent que les leurs, chargés de plus de silice, de beaucoup moins de chaux, d'alumine, de magnésie, sont beaucoop moins attaquables par les liquides qu'ils doivent contenir; à l'appui de leur dire, ils fournissent les analyses suivantes que nous livrons aux Verriers, comme aux Métallurgistes, pensant que pour les uns comme pour les autres, ces résultats seront intéressants.

	Bouteilles fabriquées avec les scories.	Bouteilles en verre de Sunderland.
Silice.	64,4	53,25
Potasse et soude. . .	6,31	4,25
Chaux.	16,37	25,5
Alumine et fer.	11,87	15,0
Magnésie.	0,64	2,0
Divers.	0,41	0,0

Plus de soude et de potasse, comme on le voit, ajoutée à la scorie, pour *la délayer* on peut dire, dans la matière neuve ajoutée, pour faire le verre complet.

Ne terminons pas cette revue sans parler de la gravure par le procédé Telghman qui ne figurait pas à l'Exposition et qui consiste à

dépolir le verre en lançant à sa surface par un jet de vapeur ou d'air, du sable qui use le verre sur lequel on a placé, comme réserve, des patrons en matière tendre, gutta-percha, ou papier spécialement préparé et découpé suivant le dessin que l'on veut reproduire.

Enfin n'oublions pas de citer d'autres produits américains, arrivés au dernier moment à l'Exposition; des verreries moulées, d'un poli, d'un fini, d'une minceur telles que l'on a peine à juger si ce sont des objets taillés ou moulés, tant ils sont parfaits; ce résultat est dû à la fonte particulière avec laquelle sont faits ces moules, à la perfection de leur ajustement, et aussi, nous le pensons, à une fluidité particulière du verre pressé dans les moules; un mot à cet égard, ou plutôt relativement aux moules de verreries. Nous avons personnellement introduit une pratique nouvelle, dont plusieurs verreries se servent, c'est le *nickelage* des moules. Donner à la surface de ces moules un uni, un poli brillant, empêcher leur oxydation, est un résultat que nous croyons devoir signaler, et qui pourra, nous le pensons, donner aux Verreries françaises qui emploient les moules, les moyens de se rapprocher de la perfection américaine dont nous venons de parler.

Conclusions. — En résumé, on peut voir, que quoiqu'ayant passé bien rapidement en revue les produits de la classe 19, l'industrie du verre, n'a pas été une des moins bien représentées à l'Exposition de 1878. A l'étranger comme en France, des progrès considérables ont pu être constatés dans cette branche, on peut dire une des plus importantes de l'Industrie, puisque l'on estime la production verrière pour l'Europe, à un demi-milliard par année, et pour la France seule à 110 millions, dont un tiers environ est exporté.

Nous le répétons, cette importante industrie du verre, qui est la transformation des produits naturels, la silice, la chaux, la soude, la potasse, le plomb, en objets si variés, si différents de formes, eût pu être l'objet d'une communication beaucoup plus étendue; nous avons préféré nous borner à une sorte d'énumération succincte, susceptible seulement de vous montrer que l'industrie du verre est une des branches les plus importantes de la technologie, et que chacune des industries spéciales dont elle se compose pourrait donner lieu, à elle seule, à un travail et à une étude spéciale qui pourraient vous intéresser.

SOCIÉTÉ DES ARCHITECTES ET INGÉNIEURS DE BERLIN

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE L'ANNÉE 1877 (*Suite*).

NOVEMBRE.

Solution scientifique de la question de l'alimentation des villes par l'eau et en particulier par l'*eau de source*, par M. le docteur Otto Valger, à Francfort-sur-le-Mein.

Régulateur des machines d'extraction, par M. Chr. Geber.

Monte-charge hydraulique des magasins de la Douane de la station Elberfeld-Steinbeck, par M. Apel, Ingénieur. L'ensemble du monte-charge comprend une locomobile de quatre chevaux, une pompe hydraulique horizontale double, un accumulateur, un cylindre moteur, un plateau de descente et enfin les conduites. L'installation revient à 21,000 francs.

DÉCEMBRE.

De la forme fondamentale des *pièces courbes posées sur deux appuis*, par M. C. Kayser.

Manœuvre pour atteler latéralement les wagons, communiqué par une Commission d'Ingénieurs de Berlin. — Cette Commission avait à examiner 23 dispositions différentes pour faire manœuvrer les crochets d'attelage sur le côté et en dehors des tampons de choc. — Elle a classé tous ces projets en quatre groupes, savoir :

GROUPE N° I. — Le premier groupe n'a rien changé ni ajouté à l'attelage existant.

a. Système de M. Bing, directeur de la fabrique de wagons du chemin de fer de la Baltique (Russie), à Riga.

GROUPE N° II. — L'attelage par crochet à vis a été légèrement modifié, la manœuvre se fait au moyen d'une tringle en dehors des tampons de choc.

Les systèmes proposés sont de :

a) M. Puxkandl, Ingénieur du chemin de fer du prince royal Rodolph, à Ainstetten.

b) M. J. H. Cohrs, à Hambourg.

c) M. Louis Becker, Inspecteur du chemin de fer du Nord de l'Empereur Ferdinand, à Vienne.

GROUPE N° III. — L'attelage ancien est plus ou moins modifié et la manœuvre se fait par un mécanisme spécial manœuvré en dehors des tampons.

Les systèmes proposés sont de :

a) M. Korbuly, Ingénieur du chemin de fer de l'Ouest de la Hongrie.

b) M. Richter, constructeur de wagons du chemin de fer de Berlin à Stettin, à Berlin.

c) M. G. Röder, chemin de fer de Louis (Hesse).

d) M. Zinauer, Ingénieur en chef du chemin de fer de l'Empereur François-Joseph, à Vienne.

e) MM. W. Osterwitz et Schramm, du chemin de fer Mark-Posen, à Guben.

GROUPE N° IV. — Les anciens attelages sont complètement supprimés et remplacés par une disposition nouvelle.

Les systèmes proposés sont de :

a) M. Gussebner, Inspecteur du chemin de fer du Nord-Est, à Vienne.

b) M. Volkmar, à Strasbourg.

c) MM. Dopp frères, à Berlin.

d) M. Kessler, Ingénieur, à Greifswald.

e) M. Steinhaus, à Cabel (Westphalie).

f) M. Sleisfer, Ingénieur en chef du chemin de fer de l'Est, à Bramberg.

g) M. W. Frey, Ingénieur en chef du chemin de fer Grand-Ducal, à Carlsruhe.

BIBLIOGRAPHIE.

Recherches théoriques sur la *construction des parties inférieures de la locomotive*, par M. Joh-Einbek, Ingénieur, ouvrage paru chez Léopold Voss, Leipsig.

Catéchisme des *travaux des mines en général*, par M. le docteur E. F. Durré, professeur à l'École Polytechnique d'Aix-la-Chapelle, ouvrage de 412 pages avec 209 gravures dans le texte. — Weber, à Leipsig.

Sur l'exactitude de l'*arpentage des terrains*, par M. F. Lorber, professeur de Géométrie pratique à l'Académie des mines de Leoben, chez *H. Holder, à Vienne*.

Méthode des plus petits carrés déduits de la théorie des probabilités et son

application aux mesures dans les sciences naturelles, par le docteur W. de Rudiger, ouvrage paru chez Reinhold Kuhn, à Berlin.

Table des déclivités de 0,5 p. 100 jusqu'à 100 p. 100 et pour les distances de 1 à 100 avec les angles de pentes correspondants, pour l'usage des constructions de routes et de chemins de fer, par M. G. — Specht, Ingénieur, éditeurs *Meyer et Zeller, à Zurich.*

Calendrier du technologue de chemin de fer, par M. E. Heusinger de Waldegg. Éditeur, Kreidel, à Wiesbaden.

Calendrier de l'industrie du gaz, par M. Schaar. Éditeur, Baumgaertner, à Leipsig.

Détermination graphique du moment maximum d'une pièce soumise à une charge mobile, par M. Wittmann, professeur à l'École Polytechnique de Munich.

Machine de mine, par M. Ritter de Hauer, deuxième édition avec atlas de 47 pages et texte de 613 pages. Éditeur, Arthur Félix, à Leipsig.

SOCIÉTÉ DES ARCHITECTES ET INGÉNIEURS DE HANOVRE

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE L'ANNÉE 1877 (*Suite*).

IIIe CAHIER.

Groupe des habitations de la rue des Acacias, à Hanovre, par M. Th. Unger Architecte.

Chemin de fer Badois, par le professeur Baumeister de Carlsruhe.

Construction des tunnels, par M. H. Birnbaum, Ingénieur, à Herdecke.

Relevé des *courants et des hauteurs de marée de la côte Ouest de Schleswig*, par M. Brunn, à Copenhague.

IVe CAHIER.

Transport de charbon à l'usine à gaz de Hanovre, par voie fumiculaire, par M. Korting, Ingénieur.

Fondation du pont de la Ruhr, près Dussern, par M. Wiebe, à Duisbourg.

Statistique pouvant servir à la question d'*établissement des chemins de fer d'intérêt local*, par M. Kopcke, à Dresde.

Canalisation de la Senne à Bruxelles, par M. Stubben, à Aix-la-Chapelle.

Pont par-dessus les rues du chemin de fer de Buda-pest, par M. Seefechner.

N. SERGUEEFF.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES DE VIENNE

ANNÉE 1877.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX (*Suite*).

Cahier IX.

Description du *Chemin de fer du N.-E. de Londres,* par l'Ingénieur H. Kessner.

Résultats d'expériences de la dépense et de la *Perte d'air dans les fondations pneumatiques,* par M. A. Schmoll de Eisenwerth.

Une *Maison d'ouvrier* de l'Exposition de Vienne par le professeur M. J. Wiss.

Cahiers XI et XII.

Un projet de *Chemin de fer du Caucase,* par M. E. Lauber, Ingénieur du chemin de fer du Saint-Gothard.

Éléments pour la *Théorie calorique de la machine à vapeur,* par M. J. Illeck.

Principes pour la *Régularisation du pont de Tide* (Wilmington, près Lon Angelas, en Californie), par M. de Popp.

ANNÉE 1878.

Cahiers I et II.

Percement du tunnel de Sonnstern (Chemin de fer du Prince Impérial Rodolphe, Autriche) et l'application de la *Machiné à forer*, système Brand, par le professeur de Grimberg.

Crochet d'attelage, breveté, par M. Gassebner.

Utilisation des vieux rails dans la construction, par MM. Wilkom et Kolodziej.

Machine à forer au diamant et son application dans le percement des Alpes, par M. Saulter.

Bateaux brise-glace de la ville de Philadelphie, par M. E. Pontzen.

Cahiers III et IV.

Reconstruction du *Tunnel de Muhlthal,* sur le chemin de fer de Brenner, par M. Doppler.

Frein différentiel rotatif et son application au marteau pilon et au laminoir, par M. Peuchan.

Fondation pneumatique à Pola, par M. de Popp.

Cahier V.

Conduite et alimentation d'eau dans les stations, chemins de fer d'Istrie et de Dalmatie, par M. Plate.

Calculs des *Résistances des pièces* posées sur deux appuis, par M. le docteur Stelzel.

Traverses métalliques de l'Ingénieur Pfannkuche.

Cahiers VI et VII.

Nivellement de la ville de Vienne et de ses environs, exécuté par la commission de triangulation de l'Institut militaire de Géographie.

Travaux de mine (poudre), M. F. Rziha.

Tunnel du Saint-Gothard, par M. Genanck.

Conduite et alimentation d'eau dans les stations des chemins de fer d'Istrie et de Dalmatie (fin), par M. G. Plate.

Cahier VIII.

Le Chemin de fer du bord du Danube, par M. L. Kuss.

Construction du *Tunnel du Saint-Gothard,* par M. Genauck.

Cahier IX.

Chauffage et ventilation des écoles, par M. F. Paul, ingénieur en chef du chemin de fer de l'État.

Théorie de l'injecteur, par M. E. Hermann, professeur à Schemnitz.

Le Dock d'Albert, à Hull, par M. A. Kessner, ingénieur à Londres.

Cahiers X et XI.

Chauffage et ventilation des écoles (fin), par M. F. Paul.

Calcul des chaines articulées, par M. le professeur Keller.

Déplacement du *Pont sur le Waag,* près Tornocz, par M. F. Wostry.

Cahier XII.

Frein continu de Westinghouse et Smith, par M. Engel.

Calcul de la *Résistance des matériaux,* par M. Herzmansky.

Nouveau calcul de la *Dimension des pièces,* par M. Weyrauch.

N. SERGUEEFF.

Paris. — Imprimerie E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(MARS ET AVRIL 1879)

N° 52

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

8° *Biographie* de M. Dion. (Lettre de M. Molinos). (Séance du 18 avril), page 277.

9° *Matériel fixe de la voie.* (Rapport de la Commission chargée de l'examen du), à l'Exposition universelle. (Séance du 18 avril), page 277.

10° *Pyrites cuivreuses*, par une méthode analogue au procédé Bessemer. (Traitement des), par M. Pourcel. (Séance du 18 avril), page 279.

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Tram, Ingénieur, un exemplaire de sa brochure sur *Les Chemins de fer économiques.* 1re Partie, Construction. — Exploitation.

De M. Rohart, un exemplaire d'une brochure sur les preuves régulières de *Destruction du Phylloxera par l'emploi des cubes Rohart.*

De M. Franz Gerwenka, Ingénieur, une brochure intitulée : *Die Hydrometrisch Waage in ihrem, Principe, Wesem und Gebranche.*

De M. Grosseteste, Ingénieur : 1° un exemplaire de sa brochure sur son Étude d'un *Projet de raccordement entre le nouveau bassin, les usines et le chemin de fer sur le territoire de Mulhouse*, et 2° un exemplaire d'une brochure sur quelques données sur le *Trafic et les Tarifs de transport des houilles.*

De M. Malissart-Taza, Ingénieur, un exemplaire de sa notice sur la *Cloche plongeante pour dérochements sous-marins.*

De MM. Schabaver et Fourès, Ingénieurs-Constructeurs, un exemplaire d'une brochure sur la *Turbine hydraulique* établie à Castelsarrazin.

De M. Desmazures, membre de la Société, un exemplaire de son *Analyse chimique minérale.*

De M. Jousselin, membre de la Société, 1° un exemplaire du rapport des Experts dans la *Catastrophe de la rue Béranger ;* 2° un exemplaire du rapport des Experts sur l'*Accident arrivé le 24 févvier 1878, à l'un des ascenseurs du Grand-Hôtel.*

De M. Huet, membre de la Société, un mémoire sur le *Laurium.*

De M. Fournier, Ingénieur, un exemplaire d'une note sur l'*Utilité d'un chemin de fer sur route entre Bougie et Sétif.*

De M. Louis Heuzé, architecte, un exemplaire de sa notice sur les *Chemins de fer Métropolitains à air libre dans une voie spéciale avec passage couvert pour piétons.*

De M. Lucas, membre de la Société, un exemplaire du résumé des *Séances du Congrès international de la propriété artistique*, tenu pendant l'Exposition universelle de 1878.

De M. Breguet (Antoine), membre de la Société, un exemplaire de la *Théorie de la machine de Gramme.*

De M. Théophile Finet, membre de la Société, un exemplaire de l'examen des objections faites par M. Sainctelette, ministre des travaux publics belges, au système d'*Exploitation des voies navigables* exposé par M. Sabatier. (Séance de la Chambre des représentants du 30 janvier 1879, à Bruxelles).

De M. Franz Rziha, Ingénieur, un exemplaire de la 2e partie de *Eisenbahn-Unter-und Oberbau.*

De M. Mathieu Henry, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur le *Matériel fixe des chemins de fer à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Melsens, membre de l'Académie royale de Belgique, un exemplaire de sa cinquième note sur les *Paratonnerres* et un exemplaire de sa notice sur le *Coup de foudre de la gare d'Anvers du* 10 *juillet* 1865.

De M. Thirion Charles, membre de la Société, un exemplaire de son tableau synoptique et comparatif des *Législations française et étrangères en matière de Brevets d'invention.*

De M. E. Simon, membre de la Société, un compte rendu de l'ouvrage de M. Persoz, intitulé : *Essai sur le conditionnement, le titrage et le décreusage de la soie.*

De M. E. Trélat, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *Logements des classes nécessiteuses.*

De M. Fournier, Ingénieur, un exemplaire de sa notice sur la *Construction et les prix de revient des chemins de fer secondaires de Valkany à Perjamos et de Votjek à Bogsan* (*Hongrie*).

De M. F. Laur, Ingénieur des mines, un exemplaire des lettres d'un Stéphanois sur les *Mines et Usines du bassin de la Loire à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Caen, Ingénieur, un exemplaire de la législation des *Brevets d'invention et des modifications à introduire dans la loi du* 5 *juillet* 1844.

De M. Moll, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur les *Aiguilles de chemins de fer manœuvrées à distance.*

De M. J. Armengaud jeune, membre de la Société, un exemplaire de

sa conférence faite au palais du Trocadéro sur les *Moteurs à gaz* à l'Exposition de 1878.

De MM. Laroche et Stœcklin, Ingénieurs des ponts et chaussées, un exemplaire de leur rapport sur les *Ports maritimes* considérés au point de vue des conditions de leur établissement et de l'entretien de leurs profondeurs.

De M. Mallet, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *Locomotives à l'Exposition de* 1878.

De M. F. Laur, Ingénieur civil, un exemplaire sur le *Sondage de la plaine du Forez.*

De M. A. Violet, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur *Les Marbres et les Machines à travailler le marbre à l'Exposition de* 1878.

De M. de Coëne, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude technique et financière sur les chemins de fer Suisses en* 1877.

De M. de Serres et M. Battig, un exemplaire de leur travail intitulé : la *Voie entièrement métallique à rail composé, système à longrines.*

De M. Delahaye, Ingénieur civil, 1° un exemplaire d'une brochure de son rapport sur l'*Éclairage électrique industriel;* 2° un exemplaire de son rapport sur l'*Éclairage électrique du tissage mécanique* de M. Manchon.

De MM. Sautter-Lemonnier et Cie, membres de la Société, 1° trois brochures sur l'application de la *Lumière électrique;* 2° un exemplaire d'une brochure sur les *Appareils de levage.*

De M. Barrault, membre de la Société, un exemplaire de son rapport présenté au Congrès international de la propriété industrielle, au nom de la section des *Brevets d'invention.*

De M. Clémandot, membre de la Société, un exemplaire de sa Conférence sur le *Verre* faite au Trocadéro, le 27 juillet 1878.

De M. Portaz, un exemplaire de son rapport sur le *Commerce et l'industrie des lins* dans les Iles Britanniques.

De M. Bernard, éditeur, un exemplaire de la première livraison avec atlas des nouvelles *Machines à vapeur qui ont figuré à l'Exposition universelle de* 1878, par M. Uhland.

Académie royale des Lincei, son bulletin.

Academia di Scienze, Lettere ed Arti, son bulletin.

Academy american of arts and sciences, son bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne.

Annales industrielles, par Cassagne.

Annales des ponts et chaussées.

Annales des mines.

Annales du Génie civil.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.

Annales de la construction (Nouvelles), par Oppermann.

Annales des chemins vicinaux.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, son bulletin.

Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, son bulletin.

Association des Ingénieurs industriels de Barcelone, son Bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine.

Canadian Journal of science, litterature, and history.

Chronique (La) *industrielle*, Journal technologique hebdomadaire.

Comité des forges de France, son bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Courrier municipal (Journal).

Dingler's Polytechnisches (*Journal*).

Écho Industriel (Journal).

Économiste (L') (Journal).

Encyclopédie d'architecture.

Engineer (*The*) (Journal).

Engineering (Journal).

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago).

Gazette des Architectes (La).

Gazette du Village (La).

Institution of civil Engineers, leurs *Minutes of Proceedings.*

Institution of Mechanical Engineers, son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, leurs *Transactions.*

Iron of science, *metals et manufacture* (Journal).

Iron and Steel Institute (*The Journal of The*).

Journal d'Agriculture pratique.

Journal des Chemins de fer.

Houille (*La*) (Journal).

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, leur bulletin.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, son bulletin.

Mondes (*Les*) (Revue).

Moniteur des chemins de fer (Journal).

Moniteur industriel belge (Journal).

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture (Journal).

Moniteur des travaux publics (Journal).

Of the American Society of Civils Engineers Journal.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Journal).

Politecnico (*Il*) *Giornule dell' ingegnere Architetto civile ed industriale.*

Portefeuille économique des machines, par Oppermann.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, leur bulletin.

Propagateur (*Le*) *de l'Industrie et des Inventions* (Journal).

Réforme économique (Revue).

Revue métallurgique (*La*) (Journal).

Revue des chemins de fer et des progrès industriels.

Revue maritime et coloniale.

Revue d'architecture.

Revista de obras publicas.

Revue des Deux-Mondes.

Revue horticole.

Revue générale des chemins de fer.

Revue technique polonaise.

Revue universelle des mines et de la métallurgie.

Revue des Industries chimiques et agricoles.

Semaine des constructeurs (*La*) (Journal).

Semaine financière (Journal).

Société de Physique, son bulletin.

Société of télégraph Engineers (Journal of the), leur bulletin.

Société des Ingénieurs anglais, leurs *Transactions.*

Société industrielle de Reims, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société industrielle de Mulhouse, son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, son bulletin.

Société d'encouragement, son bulletin.

Société de géographie, son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, son bulletin.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, son bulletin.

Société scientifique industrielle de Marseille, son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, *Revue périodique.*

Société industrielle de Rouen, son bulletin.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, son bulletin.

Société des Études coloniales et maritimes, son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de mars :

MM. Beau, présenté par MM. Bourdais, Brüll et Vée.
Bourdin, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Severac.
Dubois, présenté par MM. Desgrange, Jordan et Love.

Au mois d'avril :

MM. Baritault, présenté par MM. Courtin, Henry et Ed.Mallet.
Bérard, présenté par MM. Bourdais, Demimuid et Muller.
Binot de Villiers, présenté par MM. Chabrier, Hallopeau et Vinit.
Bourry, présenté par MM. Bourdil, Dumont (G.) et Durenne.
Criner, présenté par MM. Buchetti, Casalonga et Thomasset.
Grison, présenté par MM. Farcot, Ser et Vigreux.
Hacquard, présenté par MM. Boulogne, Buchetti et Casalonga.
Henry, présenté par MM. Demimuid, Paul Dubos et Périssé.
Jaubert, présenté par MM. Barrault, J. Farcot et P. Farcot.
Périssin, présenté par MM. Demimuid, Paul Dubos et Périssé.
Raffard, présenté par MM. Buchetti, Casalonga et Le Brun.
Raulin, présenté par MM. Bourdais, Demimuid et Muller.

Comme Membre Associé :

M. Farcot (Augustin), présenté par MM. J. Farcot, P. Farcot et Tresca.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIe BULLETIN DE L'ANNÉE 1879

Séance du 7 Mars 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 février est adopté.

M. Kremer demande à ajouter à la communication qu'il a faite sur les expériences de M. Verderber, quelques renseignements qu'il vient de recevoir de ce dernier en réponse à diverses questions qu'il lui avait adressées.

« La quantité d'eau vaporisée a été appréciée à l'aide d'un tube gradué placé sur le côté du tender, faisant connaître le volume d'eau d'après le niveau.

« La Compagnie du Nord a obtenu de meilleurs résultats de vaporisation parce que son charbon était de qualité supérieure à celui dont je me suis servi. Si j'avais employé du charbon anglais ou autre de bonne qualité, j'aurais sans doute obtenu les mêmes résultats.

« Le tableau des expériences montre que : un kilogramme de charbon a vaporisé le même volume d'eau avec la machine 104 qu'avec la machine 19 munie d'un foyer ordinaire.

« Les dimensions des locomotives sont indiquées dans l'album remis à la Société. Les locomotives 104 et 19 font partie de la troisième catégorie.

« Ainsi qu'on peut le voir sur le tableau indiquant les conditions d'établissement de ces machines, les tubes à fumée sont de dimensions ordinaires.

« La nouvelle disposition que M. Verderber a adoptée récemment obvie complètement aux dépôts calcaires.

« Pendant les expériences la pression dans la chaudière de la machine 104 était la même que dans celle de la machine 19.

« Ces deux machines ont fait exactement le même service, et le même que les autres machines du même type.

« Les résultats de vaporisation peuvent être considérés comme définitifs et satisfaisants; ils sont égaux à ceux des machines ordinaires.

« Par contre M. Verderber ne considère pas comme définitive la construction de la machine 104 et pense que les nouvelles modifications qu'il vient de faire, peuvent être considérées comme les derniers perfectionnements. »

Lecture est donnée d'une lettre de M. Daveluy, membre de la Société, annonçant que les mines de cuivre argentifère de Charrier-Lapragne (Allier), dans lesquelles tous travaux ont cessé depuis plus d'un an, seront asséchées et maintenues en état d'être visitées du 15 mars courant au 30 avril prochain. En cinq ans et d'un seul point de la concession il a été extrait :

« 33,359 tonnes de minerai brut qui ont donné 14,833 tonnes de minerai trié :

« 1,116 tonnes ont été vendues en cet état ;

« 12,981 tonnes, fondues sur place, ont produit 958,027 kilogrammes de mattes.

« Le minerai et les mattes vendues renfermaient :

« 500,000 kilogrammes environ de cuivre pur, qui, au cours de 1 fr. 80, représentent. . . . . 900,000 francs

« Et 2,800 kilogrammes d'argent d'une valeur de. 560,000 —

« Soit ensemble. . . . . 1,460,000 francs. »

M. Deghilage donne communication de sa note sur les locomotives à grande vitesse et les Locomotives-Tenders à deux et trois essieux accouplés placés entre deux essieux porteurs.

Dans la dernière séance, M. Gottechalk, Président de la section chargée d'étudier les locomotives à l'Exposition de 1878, a présenté un résumé du rapport, énonçant quelle avait été la marche adoptée pour l'accomplissement de ce travail, et les résultats obtenus. La communication suivante est consacrée aux Machines à grande vitesse et aux Machines-Tenders pour service d'embranchements.

Locomotives a grande vitesse. — Depuis la précédente Exposition, il semble que les études des Compagnies françaises se sont portées vers un but commun, le choix de locomotives à la fois puissantes et rapides, répondant aux besoins toujours croissants du trafic à grande vitesse. En effet, chacune d'elles avait envoyé au Champ de Mars un type récemment adopté pour ce genre de service; et les Expositions d'Angleterre et d'Italie en offraient, en outre, deux intéressants spécimens.

Des six machines exposées par la France, quatre sont la dernière expression de modèles dont on a dû accroître la puissance de vaporisation ; telles sont les locomotives de Paris-Orléans, de Paris-Lyon-Méditerranée, de l'Ouest et du Nord.

Les deux autres sont appelées à remplacer les machines à roues libres encore en service sur les lignes de l'Est et du Midi.

Ces huit locomotives ont un caractère commun : Grande surface de chauffe directe, et, comme conséquence, abandon du foyer complètement en porte à faux.

Cette solution permet de les diviser en trois groupes (Pl. 137) :

1° Disposition représentée fig. 1 et 2 et consistant à faire supporter l'arrière du foyer par un quatrième essieu libre : Machines de P.-O. et de P.-L.-M. ;

2° Celle indiquée par les fig. 2 à 6 plaçant un des essieux accouplés sous le foyer même : Ouest, Nord, Est, Haute-Italie ;

3° Celle que reproduisent les fig. 7 et 8 et qui intercale le foyer entre les deux essieux accouplés : Locomotives du Midi et du constructeur anglais Sharp.

De ces modifications résulte une augmentation notable de l'empâtement présenté par les essieux extrêmes, qui a l'avantage de faire reposer la machine sur une base plus étendue, la plaçant ainsi dans les meilleures conditions de stabilité ; mais les chiffres de 5 mètres, 5^{m},700, 5^{m},900 auxquels on a été conduit a rendu indispensable l'emploi de dispositions spéciales pour le passage en courbes ; aussi l'usage des « plans inclinés » donnant un jeu latéral de 10 à 16 millimètres est devenu général, et, pour la première fois, le chemin de fer du Nord, applique sur une locomotive française, l'avant-train américain. On ne saurait attacher trop d'importance à cette innovation appelée, croyons-nous, à se propager.

Vaporisation. — Considérant d'abord l'appareil de vaporisation, il est intéressant de citer quelques chiffres de comparaison sur les surfaces de chauffe directes, au moment où un Ingénieur hongrois émet l'idée de la suppression du foyer en tant que producteur de vapeur, ainsi qu'on l'a vu dans la dernière séance.

Les locomotives de P.-L.-M. et de P.-O. qui ont été le point de départ de celles exposées avaient une surface directe de 7^{mq},46 et 8^{mq},16 ; celles de l'Exposition atteignent 9^{mq},00 et 10^{mq},600. Ce dernier chiffre est le plus élevé; après lui, il faut citer la Machine-Sharp, 9^{mq},75 ; celle du Nord, 9^{mq},37 ; et, comme dimension minima, celle de l'Ouest, 7^{mq} appelée à des services divers.

Sur les huit foyers ci-dessus, quatre reproduisent le type Belpaire, avantageux par la simplicité de sa construction ; les quatre autres comprennent un foyer Tembrinck et trois foyers ordinaires.

Les tubes, d'après leur longueur, peuvent se répartir en deux classes : on trouve pour six machines des tubes variant entre 3^{m},28 et 3^{m},850 ; pour celles de P.-L.-M. et de P.-O., 4^{m},930 à 5 mètres.

A ce point de vue, rien n'a donc été changé aux conditions ordinaires de vaporisation.

Pour la construction des corps cylindriques la tôle de fer a été seule employée ; le rivetage à la presse Tweddell a été adopté par la Compagnie d'Orléans ; les chaudières sont toutes timbrées à 9^{k} à l'exception de celle du Nord timbrée à 10^{k}.

La boîte à fumée en prolongement du corps cylindrique, c'est-à-dire de forme Crampton se retrouve sur cinq machines ; celles qui font exception

sont celles P.-O.. Sharp et Ouest. Pour cette dernière le mode d'assemblage, adopté d'ailleurs pour toutes les locomotives de la Compagnie, consiste à saisir la plaque tubulaire entre deux cornières circulaires rivées, l'une à la chaudière, l'autre à la boîte à fumée.

La chaudière anglaise affecte la forme dite télescopique, c'est-à-dire présentant un emmanchement successif des anneaux; le corps cylindrique de la machine de l'Ouest, pour une longueur de 3^{m},775 est composé de deux viroles seulement.

L'emploi de regards pour la visite du foyer se généralise, et il faut mentionner aussi la disposition des grilles pour former jette-feu.

La prise de vapeur, sur les quatre locomotives de l'Ouest, du Nord, du Midi et de l'Est, se fait par le régulateur Crampton mis en communication, par un tuyau coudé, avec le sommet d'un dôme de vapeur; sur les autres machines, le régulateur est vertical et dans le dôme même.

Afin d'obtenir de la vapeur plus sèche la machine P.-L.-M. prend la vapeur sur le foyer par un tuyau aboutissant au sommet du dôme où sont installés, latéralement au régulateur, deux autres tuyaux descendant à mi-hauteur. Il en résulte un courant continuel tendant à la séparation de l'eau.

Les soupapes à levier au nombre de deux, réunies sur le dôme ou placées l'une sur le dôme, l'autre sur une colonnette, à la main du mécanicien, sont d'un usage général en France; les Compagnies de l'Est et d'Orléans ajoutent en outre sur le foyer une troisième soupape à charge directe. La machine Sharp, selon la coutume anglaise, avait deux soupapes Ramsbottom à l'arrière.

La hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus du rail ne paraît plus imposer les mêmes préoccupations à mesure que le poids des machines augmente et atteint le chiffre de 13 tonnes et plus par essieu. Cette dimension, déjà subordonnée à l'accouplement des roues de grand diamètre, est encore accrue dans les machines à cylindres intérieurs par la nécessité de rendre facile la visite du mécanisme.

Pour la machine Sharp, cette hauteur est de 2^{m},184; pour celle de l'Ouest, de 2^{m},145; pour celle du Nord, 2^{m},12.

Les boîtes à fumée renferment généralement une grille s'opposant à la projection de flammèches et souvent une poche de nettoyage est ménagée à la partie inférieure.

La cheminée évasée de bas en haut et sans chapiteau tend à remplacer la cheminée classique.

Mouvement. — Le mécanisme moteur ne présente que de rares particularités; les mouvements extérieurs (cylindres et tiroirs) dominent, ils sont au nombre de cinq, tous avec coulisses doubles et renversées. La distribution, sur la machine du Nord, est commandée par des coulisses Stephenson; sur celles de Sharp et de l'Ouest, par des coulisses rectilignes. Pour cette der-

nière, la coulisse est à deux flasques; les barres d'excentriques sont logées à l'intérieur et le coulisseau l'embrasse extérieurement.

Sur la locomotive d'Orléans la bielle de commande du changement de marche agit sur un faux arbre supporté par un longeronnet, et agissant sur l'arbre placé à la partie inférieure par un mouvement de sonnette. Les tiroirs de cette machine sont en bronze phosphoreux.

Les deux types de l'Est et du Midi ont leurs roues motrices à l'arrière; pour commander le relevage on a eu recours, sur la première, à une pièce coudée contournant le dessus du foyer; sur la seconde, l'arbre est sur le foyer même; l'ensemble des deux mécanismes rappelle la disposition Crampton, seule comparaison à établir avec ce modèle de locomotive dont la particularité était l'abaissement du centre de gravité.

La forme des bâtis de changement de marche varie avec chaque Compagnie; tantôt boulonné sur la chaudière, tantôt reposant sur le longeron et le tablier. Le plus souvent la bielle est attachée directement sur l'écrou; sur la machine de l'Est, selon un procédé anglais, la vis est mobile et l'écrou du volant fixe.

Le chemin de fer du Nord emploie d'une manière générale la tête de bielle d'accouplement dite « à bague, » d'origine anglaise; les autres Compagnies conservent les têtes ordinaires à clavette. Les colliers d'excentriques en fer, avec garnitures en bronze sont de plus en plus en usage; sur la locomotive anglaise ils étaient en fonte.

Presque toutes les pièces de mouvement sont en fer cémenté; les crosses de pistons et les tiges, les glissières, les bielles motrices souvent en acier doux.

Le diamètre des cylindres varie entre 0,420 et 0,457; la machine de P.-L.-M. portait exceptionnellement des cylindres de 0,500; l'Angleterre nous a fourni quelques rares exemples de cylindres d'un volume semblable.

Les garnitures métalliques deviennent d'un usage général, et on trouve de nombreuses applications du graisseur sous la main du mécanicien.

Le diamètre des roues varie entre 1,900 et 2,100. La Compagnie de l'Est seule a adopté la cote de 2^{m},300 qui est celle de ses machines Crampton en service.

Le diamètre de 1^{m},820 qu'on remarque sur la locomotive de la haute Italie, tient à ce qu'elle fait partie d'un lot primitivement destiné aux trains directs sur la ligne du littoral, et utilisé depuis pour le service de grande vitesse sur la ligne de Turin, Venise.

Deux locomotives, celles de Sharp et du Nord ont l'essieu coudé et tout le mécanisme intérieur; celle de l'Ouest, dernière expression d'un excellent type en service depuis vingt-deux ans, a l'essieu Martin dont la Compagnie fait le plus large emploi, et la distribution extérieure. Les manivelles motrices et d'accouplement sont calées dans le même sens pour éviter la tendance à l'ovalisation des fusées.

Les contrepoids en forme de croissants, venus de forge avec la roue sont de plus en plus employés.

Longerons, suspension. — Tous les longerons sont en tôle découpée d'un seul morceau; les boîtes à graisse quelquefois en acier coulé, munies de coins de rattrapage.

Des huit machines dont il est question ici, trois seulement ont des ressorts indépendants : celles de l'Ouest, du Midi et de Sharp.

Sur celles de P.-O. et P.-L.-M., la charge est répartie de chaque côté sur les essieux accouplés par un balancier latéral articulé à un grand ressort commun. Les Compagnies de l'Est et du Nord emploient l'articulation Belge consistant en équerres appuyées sur le longeron recevant à une extrémité les tiges de ressorts, et reliées entre elles par une tringle horizontale.

La charge sur les essieux accouplés dépasse souvent 13 tonnes; les machines de l'Est et du Nord présentent le chiffre maximum de $13^t,600$ (en pression). Sur les essieux libres elle varie entre $10^t,5$ et $11^t,5$, et sur les avant-trains du Nord et de la haute Italie, elle est respectivement de 7 tonnes et $7^t,5$ par essieu.

Alimentation. — Pour terminer cet exposé, il est utile de dire un mot des appareils d'alimentation et des approvisionnements destinés à accompagner ces différentes machines.

Les modèles d'injecteur varient avec chaque Compagnie : la machine de Lyon porte un seul injecteur Delpech, type exclusivement employé depuis 1858; la Compagnie d'Orléans et celle du Midi ont adopté depuis plusieurs années l'injecteur Bouvret. La machine du Midi en avait deux installés horizontalement sur les couvre-roues; pour celle d'Orléans, un seul appareil était placé verticalement dans la rampe de gauche, et une pompe à deux plongeurs, produisant l'un l'aspiration, l'autre le refoulement, et conduits par des excentriques spéciaux était fixée sous le corps cylindrique.

Les locomotives du Nord et de l'Est étaient munies d'injecteurs Friedmann; quant à celle de l'Ouest, elle portait deux injecteurs verticaux, modèle Turck, seul en usage sur cette ligne.

La machine de la Haute-Italie présentait, en vue de l'Exposition, deux perfectionnements récents tendant à alimenter à une température de 70° et plus. Du côté droit, un injecteur modifié par M. Mazza; prenant l'eau dans un réservoir spécial placé sous le tender et en communication avec la vapeur de l'échappement qui vient s'y condenser; du côté opposé, la pompe-injecteur Chiazzarri.

Sept locomotives étaient accompagnées de leur tender; ceux de la Haute-Italie, de Lyon et du Midi étaient à six roues, ce dernier avec longerons intérieurs. La capacité atteint souvent 9 à 10 mètres cubes pour l'eau, 3,000 à 4,000 kilogr. pour le combustible.

Le chiffre de 10 mètres cubes, pour le tender de P.-L.-M., pourra être porté à 12 mètres en réduisant l'espace destiné au combustible.

Les freins à sabots agissant sur les essieux du tender, complètent

l'action du frein à contre-vapeur devenu d'un usage général. Toutefois la machine anglaise est pourvue du frein hydraulique Webb, à piston différentiel.

Sur la locomotive du Nord se remarquaient le frein à vide (type Smith) à manœuvre électro-automatique; le sifflet électro-automoteur de MM. Lartigue, Forest, Digney, le contrôleur de marche Brunot, le tachymètre électrique (système Delebecque et Banderali.)

Enfin il faut signaler la présence de cabines sur les machines d'Orléans, de l'Est, de la Haute-Italie et du constructeur Sharp, et sur les quatre autres un simple écran avec toiture plus ou moins étendue.

LOCOMOTIVES-TENDERS *à deux ou trois essieux accouplés pour service d'embranchements* (Pl. 138). L'Exposition a fourni trois spécimens d'un type nouveau de locomotives destinées à assurer le service sur les lignes d'embranchements, dépourvues de plaques tournantes de grand modèle, où les rampes de 10 à 15 millimètres sont fréquentes et les installations hydrauliques peu rapprochées.

Ces machines portent leurs approvisionnements et sont destinées à effectuer leur service indistinctement dans les deux sens de la marche; elles doivent donc présenter les mêmes conditions de stabilité quelle que soit leur position; et, dans ce but, conserver à leurs essieux extrêmes une charge sensiblement égale.

Sur trois locomotives répondant à cet exposé, deux étaient présentées par la Belgique et une par le chemin de fer de l'Ouest; toutes les trois possédaient une disposition commune consistant à intercaler les essieux accouplés entre deux essieux porteurs, celui d'arrière supprimant le porte à faux du foyer.

Les deux machines de l'Ouest et du Central Belge étaient à deux essieux accouplés et longerons intérieurs; la première reproduisant rigoureusement les conditions d'établissement des machines de Banlieue en service depuis vingt-cinq ans, mais rendue plus puissante par l'agrandissement de la boîte à feu portée de $1^m,200$ à $1^m,720$. La seconde, d'un type récemment étudié, avait le mécanisme extérieur et la distribution Walschaërt.

La locomotive exposée par l'État belge avait six roues accouplées, les longerons extérieurs et les ressorts indépendants. Elle était la reproduction comme appareil de vaporisation et mécanisme, des machines à six roues adoptées depuis longtemps par l'État belge, mais munie à l'avant et à l'arrière, pour les essieux libres, des boîtes radiales du système Ed. Roy, lui permettant de franchir des courbes de 80 mètres de rayon.

La locomotive du Central Belge portait, avec le frein Lechatelier, un frein à vis dont les sabots en fonte agissaient sur les deux essieux moteurs, chargés uniformément par l'intermédiaire de balanciers articulés à des ressorts communs. Les injecteurs d'un modèle étudié par M. Wehrenffennig permettent à la fois l'alimentation de la chaudière et le réchauffage des wagons, disposés d'après le système de M. Belleroche.

Le frein installé sur la machine de l'État belge comporte six sabots en fer disposés pour exercer leur pression dans le même sens et produire un effort de 3.150 kilog. par bloc. Il peut être actionné à volonté par une vis ou par l'appareil Westeinghouse; de plus le frein à contre-vapeur, à un seul robinet prenant de l'eau et de la vapeur mélangées, complète les moyens d'arrêts ci-dessus.

Les approvisionnements, pour les trois locomotives se chiffrent de la manière suivante :

Ouest 6^{mc},500 d'eau — 1.500 kilog. de combustible.
Central Belge 5^{mc} d'eau — 3 mètres cubes. —
État belge 9^{mc},950 d'eau — 1.800 kilog. —

Ces trois machines sont munies d'abris à doubles cloisons vitrées et entièrement couvertes, et de tous les agrès permettant indistinctement l'attelage dans les deux sens.

Telles sont les innovations qui caractérisaient la plus belle fraction du matériel de chemin de fer qui figurait au Champ de Mars ; des communications ultérieures feront ressortir celles que présentaient les machines à marchandises ou pour profils accidentés, et celles destinées à des services spéciaux, tramways, etc.

M. Roy désire compléter cette revue des locomotives par une description succincte d'un type de locomotive qu'il avait exposé sous forme d'un petit modèle au 1/10e d'exécution. Ce type se distingue par deux dispositions nouvelles.

La première se rapporte à son système de coussinets à glissières obliques, appliqué à l'essieu du tender. Ce tender a des longerons rigidement fixés avec ceux de la locomotive, le long des flancs de la boîte à feu, il n'a qu'un essieu monté avec des coussinets à glissières obliques, perfectionnés par l'application de plans inclinés pour supporter la charge, d'où il résulte que par suite de la composante horizontale de la charge qui repose sur cet essieu, cette composante agit transversalement sur tout l'ensemble du châssis de la machine, pour la contraindre à suivre les courbes sans cisaillement, malgré le parallélisme et la rigidité des quatre essieux accouplés de la machine. C'est en résumé le même mode d'action, sur le châssis des locomotives, que celui exercé par les chevaux des voitures de tramways, tirant obliquement et vers l'intérieur lorsqu'ils sont dans des courbes.

La seconde disposition concerne le mode de chargement du combustible ayant pour but de brûler facilement du charbon tout venant, et d'atteindre une certaine fumivorité. Elle consiste en une hotte ou carbonisateur de la forme de un quart de cylindre fermée à sa partie inférieure par une palette mobile dont l'axe de rotation correspond au centre de la circonférence de la hotte. Ce carbonisateur est placé à l'arrière du foyer, le niveau de la palette est un peu au-dessus de la grille, qui est assez inclinée, deux portes sont réservées dans l'enveloppe cylindrique, elles se trouvent un peu au-

dessus du tablier du tender, c'est par là que se charge le combustible frais, la cloison de l'arrière du foyer, entre la grille et le haut de la hotte, est ouverte, un écran tubulaire, analogue à l'écran plein du Tembrinck, force la flamme à passer devant le combustible frais, déposé dans le carbonisateur, par suite, le charbon menu qu'il renferme se coagule et commence à passer à l'état de coke; lorsque le chauffeur veut charger sa grille, il le fait en faisant mouvoir, par un mouvement de jette-feu, la palette qui lance alors sur la grille un combustible coagulé et déjà en feu au lieu de charbon en poussière.

Puis, après cette manœuvre, la palette est ramenée à la position horizontale, le carbonisateur rempli de nouveau combustible frais qui aura le temps de commencer sa carbonisation pendant la durée de la combustion de la charge récemment faite sur la grille.

Des prises d'air et un registre sont établis au haut de la hotte pour faciliter la combustion des gaz se dégageant du combustible frais.

M. Kremer trouve que cette disposition rappelle celle du foyer fumivore de M. Duméry, avec corne d'abondance placée sur le côté.

M. Morandière dit que le système Duméry, essayé il y a une vingtaine d'années, comportait deux trémies ou cornets, elles étaient remplies de charbon que deux pistons faisaient descendre en bas du foyer pour amener le combustible frais sous celui qui était en ignition sur la grille.

M. Roy répond qu'il ne revendique pas l'idée du chargement par une trémie pour les foyers de locomotives, qui a été essayée il y a très longtemps dans l'appareil Tembrinck; sa disposition est essentiellement différente et vise une meilleure utilisation du combustible.

M. Brull, en considérant l'ensemble des perfectionnements que présentent les locomotives de l'Exposition, ne voit pas qu'ils constituent un progrès bien sensible en ce qui concerne la vitesse; il lui semble même que les Compagnies aient peu de tendance à accroître la vitesse, tandis qu'au début des chemins de fer on s'était préoccupé des moyens d'augmenter la rapidité des trains. Les locomotives Crampton sont-elles la dernière solution du problème?

M. Deghilage répond que l'on ne peut guère donner à l'appareil de vaporisation de plus grandes dimensions dans les conditions actuelles.

M. Mathieu dit qu'en effet on n'a pas dépassé les vitesses de 90 et 100 kilomètres à l'heure fournies à l'origine par les locomotives Crampton. Mais elles ne pouvaient autrefois remorquer que 6 à 8 voitures, tandis qu'aujourd'hui elles sont capables de traîner des charges plus lourdes, notamment des trains de 14 à 16 voitures. C'est là le progrès qui a été accompli et il fait face aux besoins actuels.

M. Brull répond que c'est surtout un progrès pour les Compagnies plutôt que pour les voyageurs.

M. Roy fait remarquer que cette puissance de traction permet, au grand avantage du public, d'ajouter pour les trains express des voitures de 2me classe.

M. Mathieu dit qu'on pourrait bien obtenir des vitesses de 120 kilomètres, mais que suivant lui il y aurait danger. Il n'y a pas lieu de dépasser une vitesse de 80 à 90 kilomètres qui répond à toutes les exigences. Pour diminuer la durée d'un parcours, il suffit de réduire les temps d'arrêt.

M. Hersent donne communication de sa notice sur les principaux travaux de fondation d'ouvrages d'art, réunis à l'Exposition universelle de 1878.

M. Hersent expose d'abord quelques considérations générales.

Les travaux de fondation sont, sans contredit, dans les grandes constructions de notre époque, la partie la plus importante et souvent aussi la plus difficile à exécuter, sans qu'il en reste de trace après. — L'emplacement des ouvrages ordinaires, comme des maisons, des gares de chemins de fer, etc..... ou des grands ouvrages, comme des palais, des ponts, des viaducs ou des écluses est souvent déterminé par des considérations générales de situation ou de tracé, qui obligent les constructeurs à consolider le sol, quoiqu'il arrive, ou même, en certains cas, à faire un sol artificiel pour permettre l'édification de leurs constructions, ou enfin à traverser les couches insuffisamment résistantes pour aller reposer la base des édifices à une profondeur parfois assez considérable.

Outre l'insuffisance de résistance du sol, la présence de l'eau, qui se révèle dès qu'on fouille à une certaine profondeur, présente aussi de graves inconvénients; cela arrive le plus souvent pour les ouvrages destinés à franchir les rivières.

Depuis quarante ans, l'immense quantité de grands travaux exécutés dans tous les pays pour la construction des chemins de fer, des routes et des ponts, a donné lieu à la solution de bien des problèmes; l'emploi de l'air comprimé et des caissons métalliques est assurément de la plus haute importance, et, dès qu'il s'élève quelque difficulté, c'est le moyen auquel on a recours le plus généralement.

On fait encore beaucoup de fondations sur béton dans une enceinte de pieux et palplanches (Quai de Boulogne, etc...).

On en fait même sur béton dans un simple coffrage; dans ce cas, la base est d'ordinaire plus grande, et une petite murette sur les bords supérieurs permet de poser le socle un peu au-dessus du plan d'eau. (Pont au Change, pont des Andelys, etc.).

On fait aussi des fondations dans une enceinte de pieux et palplanches au milieu de laquelle on a fiché des pieux pour transmettre la charge supérieure à un sol plus résistant, et on couvre la tête des pieux avec du béton (culées du pont d'Argenteuil, écluse de chasse à Honfleur).

On fait encore l'ancienne fondation sur pilotis composée de pieux battus à un refus plus ou moins absolu, sur lesquels on pose un grillage de cha-

peaux et liernes qui servent de point d'appui aux maçonneries (culées du pont de Saint-Aubin, près Elbeuf, etc.).

Pour les ouvrages de petite et de moyenne dimension sur des terrains ordinaires, on se contente le plus souvent de faire une couche de béton offrant une base plus grande que celle de la construction à élever pour intéresser une plus grande surface du sol à la résistance.

Dans d'autres circonstances, comme à la gare de Vaise-Lyon, par exemple, on a construit sur une couche uniforme de gravier de 8 à 10 mètres d'épaisseur recouvrant un marais, en prenant la seule précaution d'élargir la base du béton sur lequel reposent toutes les constructions.

On a fondé beaucoup de bâtiments et même des ponts sur des puits foncés dans des terrains peu résistants; ces puits sont remplis de béton après leur enfoncement (gare d'Argenteuil, église du Sacré-Cœur, à Montmartre).

Enfin, depuis quelque temps, on a fait des fondations très importantes à Bordeaux, à Saint-Nazaire, au Havre, au moyen de puits en maçonnerie descendus par havage à la main et épuisement, ou dragage intérieur.

Les pieux métalliques à vis sont aussi quelquefois utilisés pour traverser des terrains peu résistants et faire reposer la base sur un sol plus homogène, qui permette d'asseoir solidement les constructions à élever; mais l'oxydation du métal et le prix de revient, sont sans doute les motifs qui n'ont pas encore permis de les employer à la place des pilots en bois : cette façon de fonder ne s'est pas généralisée et nous ne l'avons pas remarquée à l'Exposition.

M. Hersent passe ensuite en revue les principaux ouvrages que renfermait l'Exposition universelle de 1878 en les réunissant par catégories suivant le mode de fondation employé.

Ces catégories sont les suivantes :

1° Fondations sur pilotis avec platelage, ou dans enceinte, ou la tête des pilots engagée dans le béton.

2° Fondations sur béton coulé dans une enceinte de pieux et palplanches ou en caisson.

3° Fondations sur puits havés ou dragués.

4° Fondations au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé.

5° Ouvrages à la mer.

6° Moyens de travailler sous l'eau.

M. Eiffel demande quelles sont les précautions à prendre pour les ouvriers qui sont incommodés par un séjour prolongé dans les cloches à air comprimé. Il a eu connaissance que pour des travaux sous-marins exécutés en Danemark à 30 et 32 mètres sous le niveau de l'eau, on avait fait respirer de l'oxygène aux ouvriers.

M. Hersent répond que, suivant lui, il faut éviter de dépasser 22 mètres de profondeur, car au delà l'air comprimé a de grands inconvénients. A 32 mètres, il s'est produit de nombreux accidents, les ouvriers éprouvaient des douleurs musculaires, des déchirements de la vessie. Dans les

travaux qu'il exécute, comme mesures hygiéniques, les ouvriers au sortir de la cloche sont reçus dans une pièce chaude, où ils changent de costumes et mettent du linge sec.

M. Quéruel dit qu'il a eu l'occasion, il y a dix-neuf ans, d'employer pour enfoncer les pieux dans l'eau, le moyen de l'eau projetée par une lance, indiqué par M. Hersent. C'était pour le renflouement d'un navire échoué sur la plage de Gibraltar qu'il a appliqué ce système qui lui a parfaitement réussi.

Il ajoute qu'il avait déjà eu l'occasion de communiquer à la Société ce procédé dans la séance du 1er juin 1877, et qu'il y a lieu de croire que c'est grâce à cette publicité qu'il a été répandu et employé avec succès dans les travaux de fondations à la mer.

M. Hersent ne connaît dans cette voie que les essais tentés sans succès par M. Arnaud, à Honfleur, il y a quelques années. Depuis deux ans ce système a été repris à Anvers, à Calais, et il est employé maintenant d'une manière courante.

M. Brull demande si M. Hersent n'a pas cherché à employer, pour les dérochements à la mine, les moyens dont se sont servis les Américains pour les travaux de la porte d'Enfer, près New-York. On descendait une colonne, qui permettait de faire un puits, partant du bas de ce puits, on découpait la roche par des galeries rayonnantes et par des galeries circulaires en faisant des fourneaux de mine dans les piliers ainsi obtenus, et on faisait sauter toutes les mines à la fois.

M. Hersent. Un pareil travail s'est fait à Brest au sujet de bassins de radoub. On enlevait le batardeau et on faisait une excavation au-dessous du rocher. Ces moyens sont très coûteux, on risque d'attaquer le rocher fissuré, l'eau peut arriver dans la galerie et noyer les travaux en occasionnant de véritables dangers.

M. Brull a entendu dire que le coût des dérochements de Brest était de 62 fr. 50 par mètre cube enlevé. N'est-il pas plus dispendieux d'opérer par cheminement avec de nombreux coups de mine.

M. Hersent. Il est vrai qu'on déplace un volume plus grand. Mais il préfère le dérochement au moyen d'une cloche de 1m,50 qu'on déplace pour opérer par zone de proche en proche.

M. Brull dit qu'on a aussi percé des trous de mine en se plaçant sur un bateau.

M. Hersent répond que ce moyen est incertain, il vaut mieux descendre sur les rochers avec des scaphandres pour opérer par mines plates.

M. le Président remercie M. Hersent de son intéressante communication qui sera insérée *in extenso* dans le Bulletin de la Société.

MM. Beau, Bourdin et Dubois ont été reçus Membres sociétaires.

Séance du 21 Mars 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 mars est adopté.

L'ordre du jour appelle l'analyse, par M. Périssé, du Mémoire de M. A. Huet sur les gisements métallifères du Laurium.

Ce Mémoire donne un résumé des travaux et recherches que MM. Huet et Geyler ont été appelés à faire depuis 1872, dans les mines du Laurium, en Grèce. L'étude comprend diverses parties que M. Périssé examine successivement.

Le Laurium a été, dans l'antiquité, un centre actif de production en plomb et en argent qui, pendant plusieurs siècles, a été une des principales sources où les Athéniens puisaient leurs richesses. Il est permis de penser que l'exploitation en a été faite depuis l'an — 600 jusqu'au commencement de l'ère chrétienne et ce n'est que vers 1865 que réapparaît le Laurium comme district métallifère, grâce aux amas considérables de scories et déblais provenant des anciennes exploitations. Ce district minier occupe un massif de l'Attique qui s'étend le long de la côte orientale sur la mer Egée.

M. PÉRISSÉ décrit l'allure générale du terrain qui est géologiquement composé d'une alternance de trois couches de calcaire marmoréen et de deux couches schisteuses. Le calcaire supérieur a été en grande partie enlevé par érosion; le calcaire moyen et les deux couches de schistes qui sont au-dessus et au-dessous de ce calcaire, se montrent en affleurement sur d'assez grands espaces; le calcaire inférieur dont l'affleurement n'est encore connu qu'en deux points, a été déjà coupé sur une hauteur de 104 mètres sans qu'on l'ait traversé.

Le sol schisteux est couvert de forêts de pins; le terrain calcaire, au contraire, est resté aride et absolument nu, de telle sorte que les lignes de contact sont tracées très distinctement sur le sol par les limites de la végétation.

Un plissement existe dans le terrain. On peut observer les deux couches schisteuses sur une ligne de contact l'une avec l'autre avec des pendages inverses et, le long de cette ligne, indice d'une fracture importante, on trouve des blocs de calcaire moyen qui sont les témoins irrécusables du phénomène d'affaissement qui s'est produit.

Des détails sont ensuite donnés sur le puits Hilarion et le puits Serpieri. Ces puits ont permis de constater dans le calcaire inférieur, une fracture remplie par une roche ignée plus ou moins décomposée, appartenant aux porphyres euritiques. Cette fracture, en arrivant à la limite du calcaire inférieur, est rejetée de plusieurs mètres pour continuer ensuite dans la

couche schisteuse en suivant à peu près la même direction et le même plongement.

Les gisements de minerais de plomb, de zinc, etc., se rencontrent dans tous les contacts du calcaire et du schiste et aussi, la calamine principalement, en contrebas de la roche euritique. L'étude des gisements permet de formuler cette loi : que, au Laurium, les contacts les plus riches comme contenance de minerais, sont les contacts à toit schisteux et à mur calcaire; que de plus, la teneur des minerais est à un titre d'autant plus élevé en zinc que le contact est plus inférieur.

M. Périssé résume les considérations du Mémoire expliquant ce double fait. Le liquide minéralisateur surgissant du fond a dû agir avec plus d'action sur le calcaire inférieur du troisième contact auquel il enlevait une forte proportion de chaux en substituant un équivalent d'oxyde de zinc. Lorsque le liquide appauvri en métal arrivait dans les calcaires supérieurs, les phénomènes de double décomposition se produisaient avec moins d'énergie. Voilà pour la différence des teneurs. Quant à la différence des quantités entre les différents contacts, M. Huet l'explique par l'obstacle plus grand présenté par les couches schisteuses au passage des sources minéralisatrices. Le liquide ayant donc séjourné plus longtemps dans les contacts à toit schisteux, ceux-ci sont devenus plus riches en quantités.

L'épanchement de roche ignée dans le calcaire inférieur a joué le même rôle que les couches schisteuses. Aussi au-dessous de cet épanchement, trouve-t-on également des calamines très riches dans des griffons très irréguliers se présentant parfois en amas si considérables qu'on a pu les prendre au début pour une couche, et en d'autres points se resserrant jusqu'à ne se rattacher au contact supérieur que par un cordon inexploitable.

Le Laurium a été et est dépourvu de filons réguliers; tous les minerais s'y récoltent dans des gisements appartenant à la classe des gîtes dits irréguliers. Le minerai de plomb, de composition très complexe ne contient guère que 9 à 10 pour 100 de plomb, mais sa valeur industrielle est grande si on considère que rarement il contient moins de 2 kilog. d'argent par tonne de plomb.

Les calamines que les anciens ne connaissaient pas, sont de richesse très variable. Elles se présentent sous les formes et sous les couleurs les plus variées. Celles que l'on extrait aujourd'hui dans les gisements inférieurs, à raison de 3000 à 4000 tonnes par mois, contiennent, après grillage, plus de 65 pour 100 de zinc.

M. Périssé entre dans quelques détails sur les citernes employées par les anciens exploitants pour recueillir les eaux pluviales dans un pays absolument dépourvu d'eau jusqu'à une profondeur correspondant au niveau de la mer. Il étudie les différents minerais; il donne quelques détails sur les laveries qui perfectionnées, rendent aujourd'hui les minerais de plomb à une teneur moyenne de 60 pour 100. Il cite les chiffres successifs de production annuelle; il parle des diverses installations occupant plus de 1500 ouvriers, des moyens d'embarquement au port d'Ergastiria.

En définitive, les difficultés du début sont évanouies, les établissements achevés et en pleine et lucrative activité. Les lois de gisement étant maintenant connues, on peut procéder à l'aménagement de l'avenir.

Par suite de l'initiative française, la Grèce a donc été dotée en l'espace de quinze années, d'une industrie puissante; d'abord par la création des usines métallurgiques du Laurium en 1865, puis par la reprise et le développeme des mines du même district, le tout sous l'habile impulsion de MM. Hilarion Roux et J.-B. Serpieri, de telle sorte que, là où trônaient il y a si peu de temps encore, le silence et le brigandage, règnent aujourd'hui l'activité du travail et la prospérité publique.

M. le Président remercie M. Périssé de l'analyse qu'il vient de présenter de l'étude très intéressante de M. Huet qui figurera *in extenso* dans les Mémoires de la Société.

M. Brüll communique l'analyse qu'il a fait de l'ouvrage de M. Alfred Evrard sur l'*Exploitation des Mines*. Cette analyse sera insérée *in extenso* dans les Bulletins de la Société.

M. Périssé demande si l'emploi de la poudre comprimée s'est répandu depuis longtemps dans l'exploitation des mines.

M. Brüll répond qu'il y a cinq ou six ans que la consommation de cette poudre a pris une certaine extension.

Séance du 4 Avril 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mars est adopté.

M. le Président annonce le décès de M. Wilden.

M. J. Armengaud jeune donne communication de l'étude de M. Alf. Maître-Jean, Commis principal de l'Administration des Télégraphes français, concernant le matériel et les procédés de la télégraphie à l'Exposition de 1878 :

M. Armengaud dit qu'ayant eu par hasard, sous les yeux, le travail de M. Maître-Jean, il a été frappé de la façon à la fois claire et séduisante dont l'auteur avait décrit les divers appareils télégraphiques qui étaient exposés au Champ-de-Mars. C'est pourquoi il a saisi cette occasion qui lui était offerte de présenter à la Société les progrès que l'Exposition a mis en lumière, dans une des plus belles applications de la science, devenue aujourd'hui un art technique, qui a ses praticiens et ses ingénieurs.

S'abritant derrière la compétence de M. Maître-Jean, il ne peut mieux faire que de suivre pas à pas l'étude que ce dernier a si bien tracée; il se bornera, dans le cours de cette revue, à fournir quelques explications sur les parties les plus complexes et les moins connues, notamment en ce qui

touche la transmission des signaux simultanés et multiples sur une même ligne télégraphique.

Avant de commencer, M. Armengaud croit devoir exprimer, au nom de la Société et au sien, les plus sincères remerciements à M. l'Administrateur des Télégraphes qui a bien voulu autoriser M. Maître-Jean, aidé de M. Mandroux, à installer ici des appareils provenant du bureau central. Deux postes Morse ont été disposés en duplex, l'un d'après le système différentiel, l'autre d'après la méthode du pont de Wheatstone. Au milieu se trouve l'appareil imprimeur de Hughes.

Comme entrée en matière, M. Armengaud donne sur la télégraphie un rapide aperçu historique qu'il termine en citant un passage éloquent emprunté au remarquable ouvrage de M. le comte du Moncel.

« En effet, grâce à la découverte de la télégraphie électrique, non-seule-
« ment la pensée put se traduire à travers l'espace par des signaux d'une
« compréhension facile, mais ces signaux purent être des lettres de
« l'alphabet, et se trouver même imprimés sur une bande de papier
« comme s'ils sortaient de chez l'imprimeur. Ils purent même être la
« reproduction exacte de l'écriture de l'expéditeur; et, chose incroyable,
« chose qu'il n'est pas donné à l'homme de réaliser dans l'échange ordi-
« naire de ses pensées, des dépêches différentes purent être transmises
« simultanément d'une station à une autre à travers le même fil, sans se
« mêler, sans se nuire !... Si de pareils résultats confondent par eux seuls
« l'imagination, que devra-t-on penser quand on considèrera qu'ils peuvent
« être obtenus à travers les mers, à travers les éléments en furie, à travers
« les glaces, les neiges, et cela d'un bout du monde à l'autre. »

Le rapport de M. Maître-Jean débute par une description d'ensemble de l'Exposition de la Télégraphie (section française) :

« Description générale. — Cette exposition, située dans une des annexes du palais du Champ-de-Mars, occupait une surface rectangulaire de 720 mètres carrés ; sur les quatre côtés de la salle, d'élégantes vitrines renfermaient les produits des constructeurs et des fournisseurs de l'Administration des Télégraphes. MM. Bréguet, Digney, Dumoulin-Froment, Hardy, Postel-Vinay, pour les appareils de transmission, MM. Menier et Rattier, pour la fabrication des câbles, M. Desgoffe pour les poteaux en tôle, etc.

« L'exposition de l'Administration des Télégraphes, placée au centre de la salle, couvrait une surface de plus de 300 mètres carrés. On y trouvait tous les types du matériel de ligne, de poste, toutes les dispositions d'installations de bureaux. L'espace inoccupé par les grandes tables qui recevraient ce matériel, était réservé aux appareils Hughes installés en duplex, aux systèmes télégraphiques de MM. Ailhaud, Bontemps, Girarbon, Lenoir, Meyer et Baudot, qui seront décrits plus loin.

« Au centre de cette exposition s'élevait une colonne monumentale en caoutchouc durci, dont les six nervures étaient en câble télégraphique. Le

sommet était couronné d'une sphère que surmontait un télégraphe aérien de Chappe. Ce trophée a été établi par la maison Menier, d'après les plans et sous la direction de M. Clérac, Inspecteur-Ingénieur des Télégraphes.

« Quelques chiffres empruntés aux documents statistiques et aux cartes murales qui étaient exposés par l'Administration permettront de se rendre compte de l'importance du service télégraphique en France.

« Le réseau a un développement de fils de 150,000 kilomètres; le nombre des bureaux ouverts est de 4600, occupant 5700 employés; les dépêches transmises en 1877 s'élèvent à 12,422,000; les recettes, à 20,017,200 francs.

« Pour faire face à tous les besoins du service des transmissions, l'Administration française dispose d'un grand nombre d'appareils que l'on peut classer de la manière suivante :

« 1° Appareils à cadran et appareils Morse;

« 2° Appareils imprimeurs de MM. Dujardin, Hughes et Olsen;

« 3° Appareils disposés en duplex et quadruplex;

« 4° Appareils multiples Meyer et Baudot;

« 5° Appareils autographiques Meyer, Lenoir, d'Arlincourt;

« 6° Accessoires de la télégraphie.

« Appareils a cadran.— Le télégraphe à cadran de M. Bréguet est le seul qui depuis son invention n'ait pas changé de forme. Il était sorti si parfait des mains de son inventeur que les constructeurs tout en le modifiant, dans quelques détails, n'ont pas altéré sa forme primitive. C'est encore l'appareil le plus répandu en France sur les lignes de chemins de fer, et il mérite en effet cette préférence par la simplicité et la sûreté de son fonctionnement.

« Cet appareil ne laisse aucune trace de la dépêche transmise, ce qui est un très grave inconvénient en ce qui concerne les responsabilités qui incombent aux chefs de gares; on a dû chercher un système permettant de conserver la dépêche en cas de réclamation, ce problème a été résolu très simplement par Morse.

« Appareil Morse. — Le transmetteur ou manipulateur se compose d'un levier pivotant en son milieu et dont l'une des extrémités peut être mise en communication avec la pile, l'autre avec le récepteur, le centre est relié à la ligne.

« Le récepteur comprend en principe un mouvement d'horlogerie qui fait dérouler avec une vitesse uniforme une bande de papier, et un électro-aimant dont l'armature reliée à un levier produit l'impression des signaux.

« L'alphabet Morse repose sur la combinaison de points et de traits produits par des courants de courte et de longue durée.

« *MM. Rault et Chassan*, agents spéciaux des télégraphes, exposaient un poste Morse complet contenu dans une boîte occupant un petit volume, et deux récepteurs munis d'un réservoir d'encre, qui permet l'encrage automatique et régulier de la molette, et d'un système de réglage de l'armature à l'aide de noyaux mobiles.

« Notons deux types de poste complet pour bureau municipal. L'instal-

lation est des plus simples et parfaitement conçue, elle est due à M. Charles, directeur des ateliers de l'Administration.

« Appareil Imprimeur de M. Hughes. — Cet appareil d'origine américaine a été importé en France en 1860. Depuis, il a reçu de grands perfectionnements. Le but que se proposait l'inventeur était de transmettre une lettre imprimée au moyen d'une seule émission de courant en n'employant qu'un seul fil. »

M. Armengaud décrit en détail les combinaisons mécaniques ingénieuses qui caractérisent ce système à l'aide de l'appareil placé devant le bureau.

« Le principe consiste en deux mouvements d'horlogerie disposés aux extrémités d'un fil et animés d'un mouvement synchronique. Un poids sert de moteur à chaque appareil. Un des axes porte une roue sur le pourtour de laquelle sont gravés les différents caractères, lettres et chiffres. C'est l'organe essentiel du récepteur. Un second axe vertical porte un levier mobile qui constitue le manipulateur. Ce levier possède la même vitesse angulaire que la roue des types, il passe au-dessous d'un disque percé de vingt-huit trous, traversés par autant de petits goujons en acier, commandés par les touches correspondantes du clavier. Au moment où un goujon soulevé est rencontré par le chariot, le courant est envoyé sur la ligne du poste de réception; ce courant traverse un électro-aimant dont l'armature provoque la projection du papier contre la roue des types et, par suite, l'impression d'un caractère. En retombant, un mécanisme spécial fait avancer le papier. Une disposition particulière permet d'imprimer à volonté, avec les mêmes touches, les lettres ou les chiffres et les signes de ponctuation.

« L'appareil Hughes donne d'excellents résultats. Il permet à un employé exercé de transmettre environ 1,700 mots à l'heure. C'est l'appareil par excellence des grands postes.

« Appareil imprimeur de M. Olsen, constructeur a Christiania. — Cet appareil est fondé comme le précédent, sur le synchronisme établi entre les roues des types de deux appareils correspondants ; l'impression d'une lettre s'opère également sans arrêt de la roue des types. Cet appareil peut servir à volonté à la transmission à l'aide d'un clavier ou à la transmission automatique, à l'aide d'un organe spécial, le *Perforateur*, qui sert à préparer une bande dans laquelle deux poinçons percent des trous à des intervalles convenables.

« Transmission automatique appliquée a l'appareil Hughes. — M. Girarbon, agent spécial des Télégraphes, exposait un système dans lequel une bande perforée est divisée en une suite de longueurs correspondantes à la circonférence décrite par le chariot de l'appareil.

« Appareil Hughes a échappement mécanique de MM. Terral et Mandroux, *agents spéciaux des Télégraphes*. — Cette modification consiste à produire mécaniquement le déclanchement de l'axe imprimeur à l'aide d'une petite

bielle articulée, actionnée par le levier du chariot. Cette disposition ingénieuse permet d'utiliser l'appareil Hughes dans les transmissions en duplex et d'envoyer sur la ligne tout le courant de la pile.

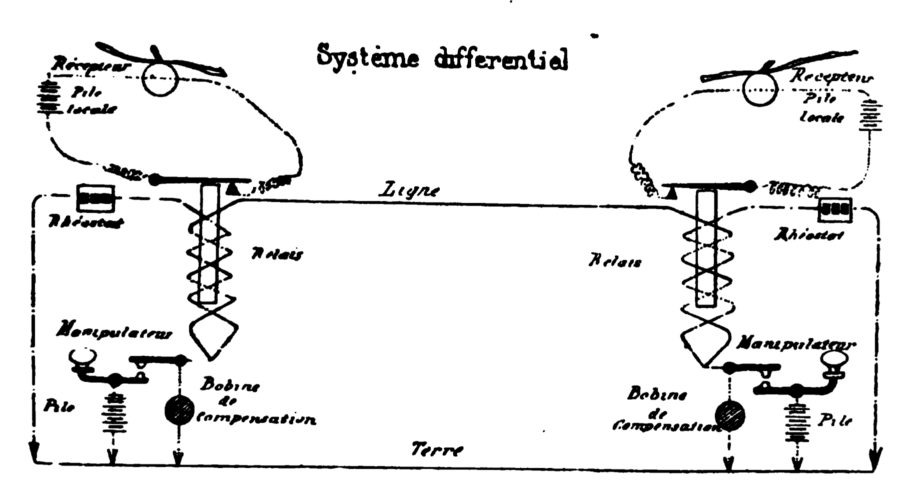
« Télégraphe automatique de Wheatstone. — Ce système d'origine anglaise permet de transmettre automatiquement les dépêches en signaux Morse à l'aide d'une composition préalable, qui consiste à perforer sur une bande des trous ronds disposés de façon à reproduire le point, le trait et l'intervalle de l'alphabet Morse. La bande ainsi préparée à l'aide d'un *perforateur* est portée sur le transmetteur dont le mécanisme imprime à deux tiges verticales un mouvement alternatif rapide.

« Cet appareil fonctionne avec une très grande rapidité; les dépêches sont transmises par séries. Sur certaines lignes on arrive à écouler 2,500 mots à l'heure. Il est disposé également pour fonctionner en duplex.

« Transmission double en sens contraire ou système duplex. — La transmission double consiste à transmettre et à recevoir en même temps deux dépêches par un même fil. L'honneur d'avoir découvert ce système revient à M. *Gintl*, physicien allemand. Les premiers essais eurent lieu à Vienne en 1853, mais ce n'est qu'en 1868 que *Stearns*, de Boston, rendit pratique la double transmission par l'emploi du condensateur.

« Deux systèmes sont en usage, le *duplex différentiel* et le *duplex pont*. M. Armengaud donne des explications sur la théorie de ces deux systèmes dont nous donnons les figures, ci-dessous :

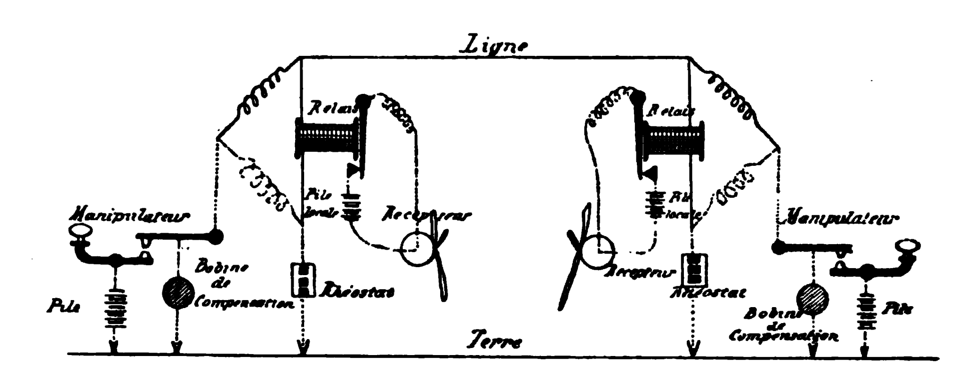
Transmission télégraphique en Duplex



« Dans le premier système, on se sert d'un relais sur l'électro-aimant autour duquel sont enroulés parallèlement deux fils séparés. L'extrémité extérieure de l'un de ces deux fils et l'extrémité intérieure de l'autre

sont reliées au manipulateur. Une des extrémités opposée de ces fils est reliée à la ligne, et l'autre à la terre à travers un rhéostat d'une résistance égale à celle de la ligne. Lorsque ce rhéostat est convenablement réglé, le courant de départ n'agit pas sur l'armature de l'électro-aimant parce qu'il se produit deux actions égales et contraires. Le manipulateur est disposé de manière à se trouver en contact avec la pile quand le levier est abaissé, et avec la terre quand il est relevé; grâce à une disposition ingénieuse, un contact a toujours lieu avant que l'autre ne cesse. Le courant d'arrivée qui ne traverse qu'une des bobines actionne l'armature comme dans un appareil ordinaire.

Système du Pont de Wheatstone



« *Le duplex pont* repose sur le principe de la balance de Wheatstone, d'après lequel un courant se partageant entre deux circuits reliés par un fil transversal ou *pont*, il n'en passe aucune partie dans cette transversale, si les résistances des quatre côtés sont égales ou proportionnelles deux à deux.

« L'application consiste à disposer deux résistances ayant un sommet commun, reliées au levier du manipulateur et dont les extrémités opposées aboutissent l'une à la ligne et à l'entrée du récepteur placé dans la transversale, l'autre à la sortie du récepteur et à la terre à travers un rhéostat équilibrant la résistance de la ligne. Si on abaisse le manipulateur, le courant se partage en deux parties, l'une s'écoule à la terre par le rhéostat, l'autre va sur la ligne, mais il n'actionne pas le récepteur placé dans la transversale. La portion de ce courant qui arrive à la station opposée, se subdivise encore, mais il en passe une quantité suffisante dans le récepteur pour le faire fonctionner.

« *M. Mandroux* a combiné un système de transmission duplex, dans lequel la ligne est constamment parcourue par un courant, et où les effets statiques résultant des variations de charge du conducteur, sont compensés par des courants d'induction.

« QUADRUPLE TRANSMISSION. — SYSTÈME DE M. SIEUR, fonctionnaire des Télégraphes. — Cet électricien a résolu le problème de la transmission quadruple d'une façon originale, par la combinaison de la double transmission dans le même sens avec la méthode de Stearns.

« Ce mode de transmission est basé sur l'emploi d'un distributeur ou inverseur automatique, émettant sur la ligne à intervalles égaux, des courants alternativement positifs et négatifs.

« SYSTÈME QUADRUPLE DE M. MERCADIER, Ingénieur des Télégraphes. — Ce système consiste dans la substitution d'un électro-diapason au distributeur automatique de M. Sieur. L'une des branches du diapason est reliée au pôle positif, l'autre au pôle négatif de la pile, le pied est en communication avec la ligne.

« APPAREIL A TRANSMISSIONS MULTIPLES DE M. MEYER, fonctionnaire des Télégraphes. — La transmission multiple a pour but d'utiliser les intervalles pendant lesquels le fil reste libre dans une transmission, pour effectuer l'envoi d'autres signaux de même nature.

« L'appareil qui était exposé par M. Meyer, réalise cette combinaison ; il permet de transmettre six dépêches à la fois. Les émissions n'ont pas lieu simultanément, mais successivement, et de façon à obtenir de la ligne, le maximum de rendement. Une des parties nouvelles du système est l'application de l'hélice à l'impression des signaux.

« Les deux appareils situés aux extrémités de la ligne sont symétriques et marchent synchroniquement. Chacun d'eux est muni d'un disque partagé en six secteurs égaux subdivisés eux-mêmes en huit parties. Chaque disque ou distributeur est parcouru par un frotteur communiquant avec la ligne. Si les deux aiguilles partent en même temps d'un point correspondant, elles se trouveront au même instant sur les divisions de même ordre.

« Dans ce système, chacun des six employés à chaque poste, dispose des 5/6e de la révolution du frotteur pour préparer le signal à envoyer, mais celui-ci n'est lancé sur la ligne et imprimé à l'arrivée, que pendant le sixième de tour qui met en relation les deux appareils considérés. Sur le fil de Paris à Lyon où l'appareil Meyer est employé, on peut obtenir 150 dépêches à l'heure.

« *M. Hardy* a exposé un appareil multiple du même système, à huit transmissions, dont le rendement pourra atteindre 200 dépêches à l'heure, sur les lignes de moyenne longueur.

« APPAREIL MULTIPLE IMPRIMEUR DE M. BAUDOT, fonctionnaire des Télégraphes. — L'appareil de M. Baudot repose, comme le précédent, sur le principe de la division du temps et sur l'emploi de distributeurs synchroniques, mettant alternativement en communication deux à deux et dans l'ordre naturel des nombres, deux groupes d'appareils semblables, dis-

posés aux extrémités d'un fil conducteur; mais il diffère de l'appareil Meyer en ce qu'au lieu d'imprimer des signaux de convention, il reproduit la dépêche en caractères typographiques.

« Pour réduire la durée des impressions, M. Baudot a eu recours à un principe nouveau, dont l'application constitue l'originalité de son système. Ce principe consiste à traduire par un signal distinct, qui reproduit une lettre imprimée, chacune des combinaisons différentes que l'on peut faire avec un certain nombre de mouvements élémentaires. Ces mouvements sont produits au poste d'expédition par les cinq touches d'un manipulateur et transmis à cinq électro-aimants du poste de réception. Là, les 31 combinaisons possibles sont reçues par un organe spécial, dit le « *combinateur* », dont la périphérie garnie de contacts ferme par l'intermédiaire d'un frotteur le circuit d'une pile locale et produit l'impression au moment où la roue des types présente au papier le caractère correspondant à la combinaison.

« L'appareil de M. Baudot a été construit par M. Dumoulin-Froment. Le rendement sur une ligne de 600 kilomètres de longueur est de 36,000 lettres à l'heure.

« APPAREILS AUTOGRAPHIQUES. — Ces appareils sont basés sur la marche synchronique de deux stylets situés aux extrémités d'un conducteur et décrivant des hélices à pas serrés autour de cylindres semblables. La dépêche originale tracée sur une feuille métallique avec une encre isolante, est placée au départ sur l'un des cylindres. Le stylet transmetteur parcourt successivement tous les points de sa surface, et le courant est envoyé sur la ligne chaque fois qu'il rencontre un caractère. Ce courant va actionner le stylet d'arrivée occupant une position identique au-dessus de la feuille de papier disposée sur le cylindre récepteur et y laisse une trace. La juxtaposition de ces traces reproduit en *fac-simile* les signaux de la dépêche originale :

« Trois appareils de ce type figuraient à l'Exposition; ceux de MM. Meyer, d'Arlincourt et Lenoir.

« TÉLÉGRAPHE ÉLECTRO-HARMONIQUE. — M. Elisha Gray, de Chicago, a imaginé un système de télégraphe harmonique, très original, qui permet de transmettre huit dépêches à la fois sur un seul et même fil. Ce système qui fonctionne avec succès en Amérique était exposé dans la classe 65 (États-Unis).

« Il repose sur la propriété que possède une lame métallique, de reproduire sous l'action de courants ondulatoires émis par une tige dont les oscillations sont entretenues électriquement et disposée à l'extrémité opposée d'un fil conducteur, des vibrations identiques à celles de ce transmetteur. Si ce fil relie plusieurs groupes de transmetteurs de même nature, mais donnant des notes différentes, les ondes électriques ainsi transmises se superposent sans se confondre et chaque récepteur ne vibrera

que sous l'influence de l'appareil avec lequel il est réglé symphoniquement.

« M. Gray a combiné le télégraphe harmonique avec l'appareil Morse, ce qui constitue ainsi une variété du système duplex.

L'application consiste à utiliser un fil omnibus desservant plusieurs bureaux intermédiaires employant l'appareil Morse, de manière à en faire un fil direct dont les extrémités sont desservies par deux groupes d'appareils distincts permettant la transmission simultanée de deux dépêches dans le même sens, ou en sens inverse.

« Télégraphie pneumatique. La télégraphie pneumatique était représentée par l'Administration et par deux de ses constructeurs, MM. Mignon et Rouart, et Crespin et Marteau. M. Bontemps, chef de ce service, exposait un appareil de démonstration dont le tube en cristal, d'une longueur de 200 mètres, permettait de suivre la marche d'un petit curseur mis en mouvement par l'air comprimé et attiré par l'air raréfié. La durée du trajet était de dix-sept secondes.

« A côté se trouvaient un chronographe et divers organes électriques disposés de manière à déterminer avec précision, en cas de dérangement, le point d'arrêt d'un train dans un tube pneumatique. Un plan en relief de ce réseau dans l'ancien Paris permettait d'en suivre le développement et l'extension qui va lui être donnée.

« *M. Roussy* avait exposé de magnifiques cartes murales donnant les communications électriques de la France.

« Notons aussi un intéressant spécimen de ligne souterraine du système de *M. Baron*, Directeur-Ingénieur, et un plan en relief des communications télégraphiques de Paris, exposé par M. Beau, fonctionnaire de l'Administration.

« Appareils pour l'échange des dépêches pendant la marche des trains, système Cacheleux, fonctionnaire de l'Administration. — Le sac de dépêches à échanger est soutenu par un fort et large anneau, placé sur un petit plan incliné près de la portière du wagon. Le sac à reprendre est placé d'une manière analogue sur une potence fixée à demeure sur le côté extérieur de la voie; lorsque le wagon passe devant cette potence, les deux plans inclinés s'engagent réciproquement dans les anneaux et l'échange se fait.

« *Pile de M. Beaufils*, contrôleur de l'Administration des Télégraphes. Le caractère distinctif de l'élément Beaufils consiste dans l'emploi d'un sel dépolarisateur pour former avec le charbon un aggloméré solide, permettant de constituer une pile portative.

« Il suffira de citer maintenant les poteaux en fer de M. Desgoffe; ceux de M. Clérac, avec boîtes à coupures, les poteaux en fer à T de M. de la Taille, ceux en fer cornière de M. Papin.

« A côté de tous ces appareils figuraient encore d'autres instruments don

l'énumération serait trop longue. Bornons-nous à signaler les plus intéressants d'entre eux, tels que les indicateurs d'appels de poste de M. Lorin et de MM. Grassi et Beux, le condensateur de M. Lagarde, un appareil pour étudier les électro-aimants de M. Perrin, le perforateur de M. Morris, l'électro-aimant de M. Héquet.

« La bibliographie était représentée à la classe 65 par les ouvrages de M. du Moncel, les Traités de Télégraphie de MM. Blavier, Boussac et Bontemps, les traités pratiques de MM. Borel, Houzeau et Le Tual; par une collection complète des annales télégraphiques; par une traduction du Traité de la Mesure électrique de Latimer Clark, et par la réunion de tous les documents administratifs intéressants. »

M. le Président remercie M. Armengaud de son intéressante communication, et MM. Maître-Jean et Mandroux pour le précieux concours que ces Messieurs ont bien voulu lui prêter.

M. Fichet présente à la Société divers appareils servant à transmettre la parole à distance.

Il rappelle en quelques mots la théorie du téléphone Bell présentée il y a un an à la Société par M. Niaudet.

Les vibrations de l'air produites par la parole articulée devant un transmetteur, viennent frapper une membrane de tôle mince et la font vibrer. Derrière la plaque se trouve une tige aimantée dont une extrémité est munie d'une bobine de fil fin entouré de soie. Les vibrations de la plaque déterminent dans l'aimant des variations d'état magnétique desquelles résultent des courants d'induction dans le fil de la bobine. Ces courants d'induction se transmettent à l'autre extrémité du fil conducteur qui aboutit à la bobine d'un instrument récepteur en tout semblable au premier. Les courants de la bobine réagissant sur l'aimant du récepteur, y déterminent des variations d'état magnétique synchroniques avec celles du transmetteur. Il en résulte que la plaque du transmetteur vibrant synchroniquement avec celle du récepteur, les vibrations de l'air à l'arrivée se succèdent comme celles de l'air au départ et la parole se trouve ainsi transmise à distance.

Dans l'appareil de Bell la reproduction de la parole ne se faisait qu'à voix basse, aussi fallait-il au poste récepteur deux appareils, un pour chaque oreille; de plus, il était difficile d'appeler l'attention d'un poste à l'autre.

Aussi l'instrument, tout en présentant un attrait scientifique considérable, ne paraissait pas susceptible d'applications pratiques.

Depuis cette époque bien des tentatives ont été faites pour augmenter la puissance de transmission, ou ce que l'on peut appeler l'effet utile de l'appareil.

Sans entrer dans le détail des nombreux types créés, M. Fichet ne parlera que des principaux, et en premier lieu il présente l'appareil de M. Gower, ingénieur américain et collaborateur de M. Bell.

Le principe est le même dans les deux appareils; seulement, M. Gower emploie, au lieu d'un petit barreau pesant 25 à 30 grammes, un fort aimant en acier d'Allevard, recourbé en fer à cheval et présentant ses deux pôles en regard, au centre d'une large plaque de 20 centimètres de diamètre, remplaçant la petite plaque de 4 centimètres du téléphone Bell. Le tout est renfermé dans une boîte en métal formant caisse sonore, sur le fond de laquelle la membrane est fortement pressée et tendue. Un tuyau acoustique dirige les vibrations de l'air produites par la parole au centre de la plaque du transmetteur. On peut au poste transmetteur visser sur la boîte un cornet qui renforce la voix et permet d'entendre à distance le son émis par l'instrument.

Comme avertisseur, M. Gower a découpé dans la plaque une languette en forme d'anche que l'on met en mouvement en soufflant par le tuyau acoustique. Cette anche rend un son bruyant analogue à celui des trompettes de tramways, et l'appel est reproduit par le récepteur avec assez d'intensité pour être bien entendu de tous les points d'une salle de réunion même assez vaste.

Diverses expériences faites devant la Société montrent que si l'on parle à voix basse devant un instrument, l'interlocuteur placé à l'étage supérieur de la maison dans une chambre fermée, entend parfaitement. Si la personne placée à l'étage parle à haute voix à l'orifice du tuyau acoustique, la parole se fait entendre dans toute la salle.

M. Gower se place en divers points de la salle des séances, et parle à haute voix à des distances de 10 à 15 mètres de l'instrument, la parole se transmet sans difficulté à l'étage supérieur.

A cet étage on chante, on joue du cornet à pistons, tout le monde dans la salle du bas entend le chant et la musique et y répond par des applaudissements qui à leur tour sont entendus à l'étage supérieur.

M. Gower fait connaître que tout dernièrement l'appareil expérimenté entre Paris et Creil à la distance de 51 kilomètres a donné de très bons résultats.

Il est toutefois certain que, les courants d'induction qui parcourent les fils étant extrêmement faibles à ce point qu'ils ne produisent aucune action sur les galvanomètres les plus sensibles, les déperditions d'électricité inévitables sur les longs parcours font, que la transmission de la parole par les téléphones, ne peut pas s'opérer à de très longues distances. Quelque énergique que soit l'appel produit par l'anche vibrante du téléphone Gower, l'intensité de cet appel diminue rapidement avec la distance, et il peut arriver bientôt que l'appel ne soit plus assez bruyant pour éveiller l'attention. Aussi l'activité d'esprit des inventeurs s'est exercée à trouver des moyens d'appel applicables au téléphone Bell, et la plupart d'entre eux ont eu recours à l'emploi de piles et de sonneries électriques. Tous ces appareils sont volumineux, encombrants et nullement portatifs. Il y a quelque temps un officier d'artillerie, M. Perrodon, eut l'idée de transformer le téléphone lui-même en avertisseur, en mettant la plaque dans le circuit

d'une pile et en interrompant le courant au moyen d'un trembleur. L'idée était simple, mais l'exécution en était fort délicate et elle a été heureusement résolue par l'emploi du système de trembleur à excentrique de M. Trouvé. — Tout le système occupe si peu de place qu'on a pu le loger dans l'intérieur du téléphone sous la plaque vibrante.

L'appareil a tout l'aspect extérieur d'un téléphone ordinaire de Bell, et pour faire fonctionner l'avertisseur, il suffit de presser légèrement une petite tige recourbée placée dans le creux d'une des moulures du bois.

Avec un courant d'une force proportionnée à la longueur du circuit, on peut obtenir un appel aussi bruyant qu'on le désire. Cet appareil extrêmement peu coûteux permet d'établir, facilement et économiquement, des lignes téléphoniques répondant à la plupart des besoins ordinaires.

Après l'invention du téléphone, de tous côtés les physiciens étudièrent la question de la transmission du son à distance, et bientôt M. Hughes fit connaître un instrument appelé *microphone* qui, s'il n'a pas comme le téléphone, la très grande simplicité de fonctionner sans pile, présente sur lui l'avantage considérable d'amplifier les sons et de rendre facilement perceptibles les bruits les plus légers, le pas d'une mouche, par exemple. Un microphone est un instrument composé d'un circuit électrique en un point duquel est un interrupteur d'un genre particulier qui provoque les interruptions du courant sous l'influence des plus minimes vibrations.

Dans le microphone de M. Hughes, l'interrupteur est formé d'une baguette verticale de charbon préparé, taillée en pointe à ses deux extrémités et reposant par sa pointe inférieure dans un petit godet en charbon, tandis que sa pointe supérieure ballotte librement dans un godet renversé également en charbon; le tout étant dans le circuit électrique, le courant passe par le godet inférieur, par la baguette et par le godet supérieur. La baguette étant dans un état de mobilité excessif, les plus petites vibrations de l'air ou du sol la font trembler et il en résulte des interruptions instantanées dans le passage du courant. Ce courant interrompu, va passer dans la bobine d'un téléphone et y produit des sons très amplifiés. Ainsi il suffit de parler devant un microphone pour que le téléphone placé dans le circuit répète à haute voix ce qui a été dit à voix basse.

On a construit depuis M. Hughes un grand nombre de microphones, et quelques-uns présentent des dispositions particulières qui permettent de les employer comme parleurs, ce qui dispense de l'emploi des téléphones.

M. Fichet présente à la Société plusieurs microphones entre autres ceux de M. Trouvé, de M. Ader et un microphone à charbon oscillant de M. de Combettes.

Il présente également un autre appareil de M. Ader, appelé l'Electrophone et dans lequel la plaque vibrante se trouve remplacée par une membrane en papier-parchemin, sur laquelle est fixée une petite armature en fer placée en regard des pôles d'un électro-aimant, dont les bobines sont dans le circuit d'un microphone. Avec une membrane de 20 centimètres de

diamètre on reproduit facilement le chant et la parole avec assez d'intensité de son pour être entendu de toute une salle.

M. de Combettes, constructeur de cet instrument, présente aussi un spécimen du cahier chantant de M. Nouette. Cet appareil est un condensateur formé d'une série alternée de feuilles de papier isolant et de feuilles d'étain communiquant deux par deux avec les fils positif et négatif du courant.

En chantant à une certaine distance devant un trembleur, cet appareil reproduit le son sans articuler la parole et avec un accent nazillard qui rappelle le son d'un mirliton.

Jusqu'ici, dans tous les appareils passés en revue, nous trouvons toujours, à un bout de la ligne, un transmetteur actionné par les vibrations de l'air engendrées par la parole, et transformant ces vibrations en une série de courants d'induction se succédant d'une façon synchronique et correspondant aux vibrations de l'air produites par la parole, et à l'autre bout de la ligne, un récepteur dans lequel une plaque vibrante est mise en mouvement par les courants d'induction, et communiquant à son tour son mouvement vibratoire à l'air ambiant. Il n'y a, sauf l'intensité, aucune différence entre ce qui se passe aux deux bouts de la ligne, et la théorie du téléphone reproduite au commencement de la séance semble bien donner l'explication des faits.

Il y eut cependant dès l'origine, des incrédules, et plusieurs savants, M. du Montcel en tête, se sont demandé s'il était rationnel d'admettre que des courants, assez faibles pour ne produire aucune action sur le galvanomètre, pussent cependant accomplir un travail mécanique comme celui de la mise en mouvement d'une membrane tendue. N'ayant aucune autre explication à donner en échange de la théorie de leurs adversaires, ils se sont contentés de formuler un doute et ont entrepris des expériences très délicates pour rechercher la vérité. Il serait trop long de les passer en revue, et il suffira, pour montrer combien ils avaient raison de se méfier de la théorie nouvelle, de dire qu'il existe des instruments qui reproduisent la parole et qui ne comportent ni membrane vibrante ni aucune pièce mobile.

M. Fichet présente à la Société un de ces instruments, le téléphone de M. Ader, qui se compose simplement d'un fil de fer doux planté dans une planchette de sapin et entouré de quelques spires de fil de cuivre fin recouvert de soie. En mettant la planchette contre l'oreille, on entend parfaitement la parole d'un interlocuteur qui, placé à l'autre bout de la ligne, parle devant un microphone. Si l'on applique un poids contre l'extrémité libre du fil de fer, le son se trouve considérablement renforcé.

En pratique, M. Ader construit son appareil en soudant aux extrémités d'un fil de fer de 1 millimètre de diamètre et de 5 centimètres de longueur, deux masses pesantes, et en disposant autour du fil de fer une petite bobine de fil de cuivre entourée de soie. On tient l'instrument à la main et, en l'approchant de l'oreille, on entend le son avec une netteté satisfaisante. Le timbre de la voix est absolument conservé.

Avec cet instrument l'ancienne théorie n'est plus admissible, et il ne reste

plus qu'à admettre avec M. de La Rive que l'aimantation du fer produite par les courants d'induction produit un état vibratoire des molécules de fer, qui s'entrechoquent en produisant un son. Comme aucun mouvement n'est précipité à l'extérieur, on en est réduit à se demander comment ces chocs de molécule à molécule peuvent déterminer dans l'air ambiant les vibrations nécessaires pour impressionner la membrane du tympan. La réponse, à cette demande est, il faut bien le dire, encore à trouver.

Après avoir produit l'aimantation du fer au moyen de courants induits passant dans la bobine, M. Ader a supprimé la bobine et a fait passer les courants induits dans le fil de fer lui-même.

M. Fichet présente à la Société l'appareil ainsi construit, qui transmet la parole comme le précédent.

En substituant au fil de fer un fil d'un métal non magnétique, on n'a obtenu aucun résultat; il semble donc que jusqu'à un certain point l'opinion de M. de La Rive se trouve confirmée et que ce sont bien des phénomènes magnétiques qui déterminent ces chocs intérieurs d'où résulte le son.

Pour en avoir la preuve, M. Ader a placé sur une planchette semblable aux précédentes une bobine de fil de cuivre isolé en tout pareil à celui employé, mais sur laquelle le fil est enroulé très peu serré. Il n'y a plus là aucun métal magnétique, mais seulement du bois, du cuivre et de la soie, et cependant l'appareil parle encore.

Quelle explication plausible en donner?

Si, au lieu d'enrouler le fil très peu serré, on fixe les spires d'une façon invariable au moyen de gomme laque, l'appareil devient muet. La gomme laque est un isolant par excellence, les phénomènes électriques n'ont pas de prise sur elle, elle n'a pas produit d'autre effet que d'immobiliser les spires, pourquoi le son cesse-t-il de se produire dans ce cas. Il est impossible dans l'état actuel de la science de fournir aucune explication satisfaisante.

M. Fichet regrette que l'heure avancée ne lui permette pas de faire fonctionner tous ces appareils de M. Ader, qui lui ont été obligeamment confiés par M. Du Moncel pour la séance de ce jour, et pour le service desquels M. de Combettes avait eu la complaisance d'installer aux divers étages de l'hôtel, des postes reliés par des fils isolés. Ces appareils du reste, tout en présentant un intérêt scientifique considérable, sont encore trop récents pour que l'inventeur ait eu le temps de les rendre susceptibles d'une application pratique.

Ceux qui ont été présentés tout d'abord, savoir le téléphone de M. Gower et le téléphone avertisseur de M. Trouvé, sont au contraire des instruments tout à fait pratiques. Leur installation pour de courtes distances coûte déjà moins que celle des tuyaux acoustiques; et, pour des ateliers et des usines, ils sont dès maintenant en mesure de rendre les plus grands services.

M. le Président remercie M. Fichet de son intéressante communication, et se rend l'interprète des Membres présents, en remerciant également

MM. Gower, Trouvé, Ader et de Combettes, pour l'empressement qu'ils ont mis à installer et à faire fonctionner leurs appareils.

MM. Baritault, Binot, Bérard, Bourry, Criner, Grison, Hacquard, Henry, Jaubert, Périssin, Raffard et Raulin ont été reçus membres sociétaires et M. Farcot Augustin, membre associé.

Séance du 18 Avril 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 avril est adopté.

M. le Président annonce le décès de MM. Chopin et Tronquoy.

Il est donné lecture de la lettre suivante adressée par M. Molinos :

« Monsieur le Président,

« J'ai l'honneur de vous adresser au nom de M. Seyrig et au mien, une Notice biographique sur M. de Dion. Elle sera suivie d'appendices dans lesquels M. Seyrig a bien voulu exposer les derniers travaux de notre regretté Collègue sur la résistance des matériaux, travaux très intéressants qu'il eût été très malheureux de laisser perdre.

« J'ai à m'excuser d'avoir tant tardé à remettre à la Société cette Notice sur un de ses anciens Présidents; une absence de près de sept mois, et une longue indisposition m'ont empêché de remplir plus tôt ce devoir. Sans le concours dévoué de M. Seyrig, qui heureusement a travaillé à l'Exposition avec M. de Dion, et a pu recueillir sur ses dernières recherches des renseignements que l'auteur n'a pas eu le temps de rédiger lui-même, je n'aurais pu mener à bonne fin cette entreprise. J'espère que la Société se joindra aux amis de M. de Dion, pour remercier M. Seyrig du service qu'il a rendu à la mémoire d'un homme éminent, qui laisse un si grand vide et tant de regrets parmi nous.

« Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc. »

M. le Président remercie MM. Molinos et Seyrig, au nom de la Société.

M. Henry Mathieu dépose les rapports faits par la Section chargée, sous sa présidence, de l'étude du matériel fixe des chemins de fer, à l'Exposition de 1878.

M. Mathieu expose la marche suivie, dès l'origine par la sous-section, et qui a consisté à partager le travail en huit divisions et à les répartir entre les divers Membres qui se sont fait inscrire pour prendre part aux travaux d'études. Ces Membres sont : MM. Bazaine, Daveluy, Danvers, Dujour, Flachat (Yvan), Hallopeau et Lecointe.

M. Lecocq a été choisi pour être Secrétaire-Rapporteur.

Chaque Membre a fait un rapport spécial écrit sur la division qui lui incombait, en y joignant tous les documents, tableaux, dessins et renseignements qu'il a pu se procurer. Chaque rapport a été ensuite lu et discuté en séance. Ces discussions sont consignées dans des procès-verbaux dressés très régulièrement.

Les dossiers remis par les divers Membres forment une collection très intéressante à consulter, et qui sera déposée aux Archives.

Enfin, à la suite de ce travail préliminaire, un rapport général, désigné sous le nom de Mémoire, a été rédigé par le Secrétaire-Rapporteur, M. Lecocq, qui s'est acquitté de cette tâche avec le plus grand zèle. Il a réuni, dans ce Mémoire, tous les documents utiles qu'il a pu rassembler tant à l'aide des rapports particuliers qu'à l'aide des résultats de ses propres recherches, en sorte que ce Mémoire peut être considéré comme l'expression fidèle des documents recueillis et des discussions soulevées, dans nos séances, sur le matériel de la voie à l'Exposition de 1878.

La sous-section a trouvé, au cours de ses discussions, un concours éminemment utile dans l'appel qu'elle a fait à l'expérience de MM. Bouissou et Contamin, Ingénieurs du matériel fixe de la voie, l'un au chemin de fer de l'Ouest, l'autre au chemin de fer du Nord, et qui ont bien voulu assister à un grand nombre de séances.

En terminant, M. Mathieu ajoute que c'est grâce au zèle et au dévouement des Membres, qu'il vient de citer, qu'il a pu mener à bonne fin le travail qu'il est heureux de déposer sur le bureau de la Société.

Enfin, ce travail sera complété par des communications spéciales que quelques-uns des membres, qui y ont coopéré, se proposent de faire ultérieurement, et sur lesquelles la discussion sera appelée.

M. le Président remercie M. Mathieu, et donne la parole à M. Brüll pour sa communication sur le bassin houiller de la Rühr.

M. Brüll fait connaître, d'abord, l'économie de la loi prussienne du 24 juin 1865, relative aux mines, et il fait ressortir les points principaux par lesquels elle se distingue de la loi française. Cette loi, très libérale dans beaucoup de ses articles, a été, de l'avis de M. Brüll, l'une des causes principales du développement rapide du bassin de la Rühr.

M. Brüll fait ensuite la description géographique, topographique et géologique de ce bassin dont il indique les dimensions et la production. Cette dernière a atteint, en 1878, 19.209.000 tonnes, dépassant ainsi de plus de 2.000.000 de tonnes la production de la France entière en 1877.

Cette grande quantité de combustible est utilisée, en partie, dans le pays même, où se sont installées des industries considérables, et le reste est exporté dans les contrées voisines, Hollande, Suisse, France, à l'aide de nombreux chemins de fer qui sillonnent le bassin dans tous les sens et effectuent les transports à des tarifs très bas.

M. Brüll entre dans des considérations relatives à l'organisation des sociétés, et donne des indications sur les diverses méthodes d'exploitation employées. Il décrit les machines et appareils d'extraction, les machines d'épuisement, les appareils de ventilation et certains puits intéressants par leurs dimensions, leur mode de fonçage, ou les difficultés qu'on a eues à vaincre pour les établir.

Il cite notamment les puits de Rhein-Elbe et Kõnigsborn qui ont été foncés par notre collègue, M. Lippmann, présent à la séance, à qui M. le Président demande de donner quelques détails sur ces intéressantes opérations.

M. Lippmann est tout prêt à donner les renseignements qui lui sont demandés, mais il pense qu'il serait préférable, pour la Société, d'entendre une communication spéciale qu'il s'engage à présenter dans la prochaine séance.

M. le Président prend acte de la promesse de M. Lippmann, et M. Brüll continue sa communication en donnant des détails sur l'emmagasinement des charbons, quand les wagons font défaut pour l'expédition immédiate, et, enfin, il traite la question de la préparation des charbons et de la fabrication du coke.

En terminant, M. Brüll donne le prix de revient des charbons dans le bassin de la Rühr; lequel est descendu, récemment, à une limite inférieure, qui n'atteint pas la moitié du prix de revient dans les houillères du Nord de la France.

M. le Président demande quelle est la plus grande hauteur de refoulement, d'un seul jet, que M. Brüll a pu constater dans les machines d'épuisement.

M. Brüll répond qu'on a atteint 300 mètres avec une disposition spéciale de clapets.

M. le Président remercie M. Brüll de son intéressante communication.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Gautier (Ferdinand) sur les essais récents de traitement des pyrites cuivreuses par une méthode analogue au procédé Bessemer.

M. Gautier ayant appris que M. Pourcel désirait donner communication d'un travail sur le même sujet, cède son tour de parole à M. Regnard.

M. Regnard donne lecture de l'analyse faite par M. Pourcel, du travail

de M. le professeur Edouard Riley, de Londres, sur le nouveau procédé de *Traitement des pyrites cuivreuses* dû à M. John Hollway qui a fait ses essais à Peniston.

M. John Hollway a donné à son procédé un titre qui en résume le principe : « Une application nouvelle d'oxydation rapide dans laquelle les sulfures sont utilisés comme combustibles. » En effet, le principe fondamental sur lequel repose son procédé, est qu'en soufflant de l'air à haute pression à travers une couche de protosulfures métalliques fondus, la température s'élève rapidement, tout l'oxygène de l'air étant utilisé simultanément à la combustion du soufre et à l'oxydation des métaux dont les sulfures ne sont pas volatils; et l'ordre dans lequel les métaux sulfurés sont oxydés est en raison inverse de leur affinité avec le soufre : le manganèse et le fer l'étant en premier lieu, le cuivre en dernier.

Ce principe a été appliqué dans une cornue Bessemer, mais, de l'avis de l'inventeur, l'appareil pratique sera le haut fourneau pour plusieurs raisons, dont la principale est que la cornue Bessemer — qui ne présente qu'une ouverture pour le chargement des matières et leur sortie — ne peut convenir pour un traitement continu et offre les plus grandes difficultés pour recueillir les gaz et les matières volatiles. Mais il s'agissait ici d'éclaircir le point de vue pratique à l'aide de toutes les observations scientifiques de l'analyse spectrale et de l'analyse chimique, et le convertisseur Bessemer se prêtait à ces fins.

Je présente ici les détails de deux opérations prises parmi les nombreuses décrites dans le travail de M. Hollway lu à la Société des Arts, à Londres.

La première appartient à la première série d'essais.

Dans un cubilot ordinaire pour fondre la fonte, muni de huit tuyères, on a fondu vingt quintaux (soit une tonne anglaise ou 1015 kilog) de pyrite de fer cuivreuse pauvre en cuivre, en les mélangeant avec du coke; la matière fondue a été portée au moyen d'une poche et versée dans un convertisseur Bessemer de six tonnes, auquel on n'avait rien changé dans le garnissage ordinaire servant au traitement de la fonte. Le convertisseur relevé, l'air a été soufflé à 95 centimètres de mercure environ.

Pendant l'opération, qui a duré onze minutes, on a ajouté onze quintaux de quartz en morceaux. La matte obtenue était nettement séparée de la scorie, mais la scorie qui la recouvrait présentait une zone centrale renfermant un mélange de matte et de silicate fondus. Cependant l'analyse de cette partie du régule a constaté qu'elle ne renfermait aucun métal précieux, l'or et l'argent étaient concentrés dans la matte.

Voici les analyses des matières traitées et des matières obtenues, celles-ci consistant en matte, scorie, et quelques échantillons de gaz : le soufre et les sulfures métalliques volatils étant perdus en grande partie dans la fusion au cubilot.

Pyrite fondue prise à la sortie du cubilot.

Fe.	60.30
Cu.	3.25
Zn.	1.88
Pb.	0.81
Ag.	0.05
Mn.	0.20
Ca O.	0.34
Mg O.	0.32
S.	32.50
$Si\,O^3$.	0.30
	99.95

Matte.		Scorie.		**Matte et scorie mélangées**	
Cu à l'état de sulfure 69.71 Cu métallique 0.27	59.98	Cu.	0.42	Cu.	5.20
Fe.	13.16	Fe O.	67.52	Fe O.	70.42
S	21.94	$Si\,O^3$.	26.22	S.	4.17
Insoluble.	2.57	$Al^2\,O^3$.	2 46	Al^2O^3.	1.57
Ag et Au.	0.152	S.	2.06	$Si\,O^3$.	14.67
O et pertes.	0.198	O et pertes.	1.32	O et pertes. . . .	3.97
	100.000		100.00		(1) 100.00
3 coupellations ont donné en moyenne, par tonne de matte, 1,500 grammes d'Argent et 36gr.60 d'Or.					

(1) A la coupellation ce mélange n'a donné traces d'or ni d'argent.

Ces analyses montrent :

1° Que l'affinage a été arrêté trop tôt vu la proportion du sulfure de fer qui reste dans la matte;

2° Que la quantité de silice ajoutée était hors de toute proportion pour former la scorie théorique recherchée : 2 Fe O, $Si\,O^3$ dont il sera question plus loin;

3° Et que précisément cette grande quantité de fondant a été la cause du manque de fluidité de la scorie, constaté par le mélange de matte qu'elle renferme.

D'ailleurs une lacune, que l'on constate dans tous les résultats analytiques relatés dans le mémoire de M. Hollway, est l'absence de renseignements sur les poids relatifs de la matte obtenue et de la scorie ou des mélanges de matte et scorie qui l'accompagnent. Les mélanges ou dosages des premières expériences ont été faits d'une façon empirique, ceux des

dernières ont été théoriquement composés, mais les résultats, étudiés au point de vue pratique seul, n'ont pas été suffisamment élucidés au point de vue économique.

Les éprouvettes de gaz prises dans cette opération n'ont pas été soumises à l'analyse, mais de nombreuses analyses de gaz ont été faites dans le cours des expériences, et toutes prouvent que l'oxygène n'existe pas libre dans le commencement de l'opération, ce n'est qu'à un moment déterminé que l'on constate sa présence *lorsqu'on suroxyde.*

C'est à ce moment que l'on devrait arrêter l'opération, mais l'analyse spectrale ne le révèle pas, et le point précis de la suroxydation qui fait passer le cuivre dans la scorie est encore à trouver. Voilà une nouvelle raison pour faire abandonner le convertisseur Bessemer.

Les gaz renferment de l'azote et de l'acide sulfureux seulement, ni oxygène, ni CO, ni CO^2. (On se demande, du reste, pourquoi ils renfermeraient ces deux derniers gaz. Est-ce pour prouver que la matière n'a pas été carburée à la fusion au cubilot ?)

Leur température à la sortie du convertisseur a été observée aux différentes périodes de l'opération au moyen d'un pyromètre différentiel de Siemens : elle a varié en moyenne de 60° ou 70° centigrades au moment où l'on relève le convertisseur, à 700° ou 750° centigrades au moment où on l'abaisse, en atteignant après quatre minutes d'insufflation de l'air 500 à 600°.

Au spectroscope on a observé que, pendant la fusion des pyrites au cubilot, la flamme au gueulard présentait des couleurs brillantes, changeant continuellement de teinte, et éclairant fortement tout le spectre visible.

On avait des indices de la volatilisation du plomb, du sodium, du lithium et du thallium. Le soufre et CO ne donnent pas de lignes caractéristiques[1], ni l'arsenic, volatilisé à l'état de AsO^3; on ne pouvait donc constater la présence de ces corps dans la flamme. On suppose aussi que le zinc n'était pas présent sous forme de vapeur.

Quant au spectre, très clair, de la flamme du convertisseur, on y constatait les lignes du sodium, lithium, thallium, mais la majorité de ces lignes, les mieux accusées, celles dont le changement d'intensité correspondait aux progrès des réactions chimiques qui se passaient dans l'appareil, elles n'ont pu être classées quant à présent. Les lignes du plomb n'ont pas été constatées, ce métal est volatilisé dans la fusion des pyrites; celles du cuivre n'ont été vues que dans une seule opération à la suite d'une suroxydation très prolongée.

On n'a actuellement, comme je l'ai dit plus haut, aucun indice certain par le spectroscope pour arrêter l'affinage au moment précis où le cuivre, après l'oxydation complète du fer, est oxydé à son tour et passe dans la scorie.

1. Ce n'est pas mon opinion, quant à CO, lorsqu'il se suroxyde et se transforme en CO^2.

Pour prouver, maintenant, que la fusion des pyrites et la concentration des sulfures de cuivre peuvent se faire dans le même appareil presque simultanément, ***sans addition de combustible***, M. Hollway introduisit dans le convertisseur deux tonnes de pyrites fondues, sans addition de fondant, c'est-à-dire de sable. Après avoir soufflé le vent pendant cinq minutes, la température de la masse s'étant élevée, il fit ajouter par petites parties quatre tonnes de pyrite froide en morceaux avec neuf quintaux de sable renfermant environ 16 pour 100 d'eau. Malgré la chaleur emportée par la volatilisation d'une partie du soufre de la pyrite froide, et l'évaporation de l'eau, le contenu de la cornue se maintint fluide et après avoir soufflé le vent pendant quelques minutes, on put couler la moitié de la charge — régule et scorie — relever le convertisseur, ajouter de nouveau près d'une tonne de pyrite froide en morceaux avec trois quintaux de sable, souffler de nouveau quelques minutes et couler la matte finale avec sa scorie.

L'analyse des produits de cette opération constate une suroxydation : une portion notable de cuivre avait passé dans la scorie. Le convertisseur Bessemer ne permet pas en effet de *conserver la matte et de la concentrer à l'abri de l'oxydation*. Il faudrait pouvoir l'écouler avec sa scorie au fur et à mesure qu'elle se forme et après qu'elle a fait servir son excès de chaleur à fondre la pyrite crue et son fondant. Le haut fourneau, soufflé avec du vent chaud, muni d'un creuset profond et d'une tuyère placée au-dessous de celles de la zone de fusion travaillant séparément à la concentration de la matte, paraît devoir remplacer l'appareil Bessemer pour le traitement continu. M. Hollway en donne la théorie et en esquisse l'application dans ses différentes parties.

Les fumées de plomb-sulfure et peut-être d'oxy-sulfure de plomb, pourront alors être condensées aussi bien qu'elles le sont aujourd'hui au traitement au four à manche; le soufre, l'acide sulfureux seront recueillis. Dans cette dernière opération décrite, on a recueilli des matières sublimées déposées dans les éprouvettes servant aux prises d'échantillons de gaz, lesquelles soumises à l'analyse ont donné S; AsO^3; ZnO et PbS. Les gaz étaient pris à la gueule du convertisseur au moyen d'un puissant aspirateur.

J'ai passé peut-être un peu rapidement sur ce point particulier du traitement qui consiste à introduire avec la pyrite une certaine quantité de sable quartzeux. La proportion de ce sable a été calculée, étant connue la quantité de fer de la pyrite, sur la formation de ce composé que les Anglais appellent *l'orthosilicate de fer*, c'est-à-dire, *le péridot à base de fer* $2FeO, SiO^2$.

Dans les premières expériences faites au convertisseur Bessemer, on avait négligé de donner son acide au protoxyde de fer qui se forme dans l'opération, et le garnissage réfractaire de la cornue avait été rongé après chaque opération.

Ce grave inconvénient disparaît en grande partie avec l'addition de la proportion indiquée de sable quartzeux. Au lieu de sable n'aura-t-on pas

intérêt à employer ces *silicates ferrugineux de nickel et de magnésie* qui menacent de devenir très abondants, et dont le traitement est encore peu pratique, vu la faible proportion de nickel qu'ils renferment?

Cette question paraît avoir été résolue affirmativement dans la discussion qui a suivi la communication de M. Hollway à la Société des Arts, de Londres, et à laquelle ont pris part les noms les plus autorisés parmi ceux de nos collègues d'Angleterre.

Le nickel est moins oxydable que le fer, il ne peut s'oxyder tant qu'il reste du fer à l'état de sulfure; donc, si l'on ne suroxyde pas, le nickel se comportera comme le cuivre et passera dans la matte.

Introduit à l'état de silicate, dans la fusion, l'oxyde de nickel se transforme en sulfure.

A ce propos je désire mentionner les recherches faites par mon jeune camarade, M. Arnaud Bénigne, pour traiter en Italie, dans un convertisseur Bessemer fixe, les pyrites de fer cuivreuses, renfermant 3, 4 pour 100 de nickel, qui s'y trouvent en abondance.

Ledit minerai était fondu dans un petit four à manche; le sulfure triple de fer, nickel, cuivre ou *matte pauvre* était coulé dans un petit appareil Bessemer fixe, soufflé avec du vent à une pression de 1 1/2 à 2 atmosphères, le trou unique de la tuyère était de 8 millimètres. Dans ce convertisseur on a pu souffler, sans refroidir la matte, pendant 40 à 45 minutes.

Après la coulée, on obtint une matte fondue composée de silicate de fer, à la partie supérieure, et à la partie inférieure d'une matte riche contenant tout le nickel et le cuivre à l'état de sulfures. L'aspect de ce produit est celui du laiton. La richesse en nickel variait de 40 à 45 pour 100 et 6 à 8 p. 100 de cuivre, 29 pour 100 de soufre et le reste en fer.

Dans cette opération, l'antimoine s'en va dans la scorie en employant le sulfate de baryte. Malheureusement, quand il y a 5 à 10 pour 100 de plomb ou de zinc, il ne reste plus dans la matte que le $\frac{1}{10}$ de l'argent du minerai, contrairement aux idées de concentration avancées par M. Hollway.

Ainsi, à peu près à la même époque, M. Arnaud obtenait les mêmes résultats que M. Hollway, en partant du même principe. Mais les moyens ont manqué à mon jeune camarade pour poursuivre ses essais et les faire sur une assez grande échelle, qui permît d'apercevoir toutes les conclusions pratiques que laisse entrevoir le travail de M. Hollway.

D'abord, mais ce n'est ici qu'une opinion personnelle, ce nouveau procédé doit uniformiser le traitement des minerais de cuivre pauvres : oxydes pauvres dont le traitement par voie humide est si coûteux — silicates si difficiles à décomposer — et carbonates. La pyrite de fer peu ou pas cuivreuse servira de combustible, et, suivant l'estimation basée sur le calcul des chaleurs spécifiques de mon ami, M. le professeur Akerman, de l'École des Mines de Stokholm, une tonne de ce combustible peut servir à la fusion d'une tonne 1/2 à deux tonnes de matières non combustibles en soufflant avec du vent froid. En second lieu, les minerais riches en cuivre, cuivres

gris, arsénieux ou antimonieux, ou les deux à la fois généralement, pourront-ils être utilisés au moyen de ce traitement à haute température intermoléculaire, où les réactions sont tout autres que celles qui se passent à la pression normale dans un réverbère ou sous l'influence d'une faible pression au four à manche. Il n'est pas douteux que l'arsenic soit volatilisé et qu'il n'en reste pas trace dans la matte — l'analyse n'en découvre pas. Quant à l'antimoine moins volatil que l'arsenic, je ne puis rien affirmer encore, mais certainement il y a beaucoup de probabilités pour qu'il se volatilise en partie pendant la fusion, et que la portion entraînée avec le protosulfure se scorifie dans l'affinage, car l'antimoine s'oxyde avant le cuivre et le silicate formé est très fusible.

Peut-être faudra-t-il, de l'avis des Ingénieurs Anglais, rendre la scorie $2\,MnO.\,SiO^3$ plus légère, diminuer sa densité voisine de 4, 2 par l'adjonction de quelques bases terreuses et alcalino-terreuses, afin qu'elle se sépare mieux de la matte dont la densité est de 4, 8 environ — mais ces bases se rencontrent le plus ordinairement dans les minerais pauvres, oxydes ou silicates. On diminuera aussi—mais pas dans de grandes limites —l'action corrosive de l'oxyde de fer sur les parois du vase où il se forme; mais dans tous les cas, le remède à cette action corrosive paraît tout trouvé dans l'emploi d'un garnissage en briques de chaux.

Je dois à l'amitié de M. le professeur Riley, la communication de son procédé devenu pratique, m'a-t-il dit, pour agglomérer la chaux. Le liant est une huile lourde, l'agglomération se fait sous l'action d'une presse qui comprime la brique à plus de 200 kilos par centimètre carré; l'huile brûle rapidement à la calcination et laisse des briques parfaites sans gerçures.

L'application au procédé Hollway de l'invention du professeur Riley se présente d'elle-même et, à mon avis, d'une façon aussi sûre que celle qu'il lui destine dans la métallurgie du fer pour la déphosphoration de l'acier au convertisseur Bessemer.

M. Gautier fait observer que la coïncidence de ces deux études sur la même question est une preuve du retentissement des expériences faites en Angleterre.

Il ajoutera seulement, aux renseignements fournis, quelques notes relatives à des expériences plus récentes faites le 9 avril à Sheffield, aux aciéries de John Brown, et dont M. Pourcel ne semble pas avoir été informé.

« Parmi les questions soulevées par M. Hollway, l'élimination de la moitié du soufre de la pyrite, à l'état de vapeur de soufre, avait été mise en doute dans la discussion qui a eu lieu à la Société des Arts, à Londres, le 12 février 1879. M. Gautier ne voit pas bien quelle pouvait être la raison des doutes émis sur ce point, car la décomposition de la pyrite en soufre et en protosulfure de fer, à une chaleur modérée, est un fait bien connu :

$$FeS^2 = FeS + S.$$

« Dans un premier cubilot soufflé par le fond, comme dans le convertisseur Bessemer, on mit une charge de coke et de pyrites de Rio Tinto avec addi-

tion de quartz. Trois autres cubilots servant de condenseurs étaient en communication avec le premier et devaient recueillir le soufre volatilisé. L'opération commencée à neuf heures du soir amena d'abord la fusion de la pyrite, puis sa scorification avec formation de matte cuivreuse, comme dans les essais précédents; la scorie s'écoulait par un réservoir latéral, lorsque, tout à coup, après deux heures et demie d'une marche satisfaisante, une assez violente explosion projeta au loin la scorie et mit fin à l'expérience. On reconnut le lendemain que cette explosion était due à un dépôt de soufre dans les conduits faisant communiquer les cubilots entre eux; ce dépôt de soufre était si abondant qu'il avait complètement obstrué ces tuyaux. »

M. Gautier ajoute quelques considérations générales sur les avantages que pourrait présenter le procédé Hollway dans l'industrie dû cuivre.

En ce qui concerne le traitement des minerais riches, tel qu'il est suivi à Swansea par la méthode Galloise, ce sont les hommes spéciaux qui sont surtout appelés à se prononcer sur cette question. On peut dire cependant que dans les essais de concentration du cuivre dans une matte à 40 ou 50 pour 100, faits par la méthode Hollway, la richesse en cuivre des scories obtenues semble environ le double de ce qu'on voit à Swansea, mais il est juste de dire qu'il faut trois fontes de concentration pour arriver par la méthode Galloise à cette matte déjà riche, tandis qu'une seule opération Hollway y amène facilement et économiquement.

La première impression des grands fondeurs, tels que M. Hussey Vivian, ne semble pas très favorable au procédé; ils le considèrent comme une rêverie. Il ne faut pas s'en étonner en Angleterre; à côté des traits de génie les plus remarquables on rencontre aussi la routine la plus endurcie.

Pour les pyrites pauvres en cuivre, leur traitement était de deux sortes.

Celles qui renfermaient plus de 2 pour 100 de cuivre étaient envoyées en Angleterre où on les grillait pour acide sulfurique. Le résidu était traité dans un four de rôtissage avec du chlorure de sodium; on lessivait le chlorure de cuivre produit et précipitait le cuivre par le fer; on parvenait même à extraire une partie de l'or et de l'argent. C'est ce que l'on appelle la méthode *Henderson*. L'oxyde de fer résultant de ce traitement est connu sous le nom de *Blue-Billy* et se trouve dans un assez grand état de pureté pour pouvoir servir à la fabrication des fontes Bessemer. Plus de 20 usines ont ainsi traité, en 1877, 428,000 tonnes de résidus de pyrites, et sont situées à Newcastle, Glasgow, Liverpool, Birmingham, en Angleterre; Duisburg, en Prusse, et Oker, dans le Hartz. Il est probable que la méthode Hollway ne supplantera pas ce procédé, qui tire parti de l'oxyde de fer.

Quant aux pyrites renfermant moins de 2 pour 100 de cuivre, elles sont traitées sur place, à Agordo, en Vénétie, et surtout à Tharsis, Rio-Tinto et la Zarza, en Espagne.

Le grillage, qui dure huit mois, se fait en tas; le soufre forme des sulfates de fer et de cuivre, d'où se fait l'extraction du cuivre par précipitation avec le fer.

Le grillage est incomplet, et une partie du cuivre échappe ainsi au traitement. De plus, il faut de grandes quantités d'eau pour le lessivage. Pendant la saison des pluies il y a entraînement d'une partie du cuivre, etc., etc. D'ailleurs les métaux précieux, or et argent, sont complètement perdus et on peut admettre, qu'en moyenne, une tonne de pyrite renferme 7 francs d'argent et 0 fr. 50 d'or. Un autre inconvénient de ce traitement simple, imaginé il y a plus de deux cents ans, c'est que l'agriculture souffre considérablement des émanations d'acide sulfureux mélangé d'acide sulfurique qui s'échappent des tas de grillages.

Dans la province de Huelva, sur une étendue égale à celle d'un ou deux départements français, en 1877, il a été grillé plus de 500,000 tonnes de pyrites, et, en 1878, près de 700,000 tonnes, ce qui correspond à plus de 10 milliards de mètres cubes d'air viciés par 5 pour 100 d'acide sulfureux.

Aussi, cette industrie est interdite en Portugal; et, en Espagne, une commission nommée par le gouvernement a divisé les terrains qui avoisinent ces usines en quatre zones, dont les deux premières doivent être achetées par les industriels, et les deux autres recevront une indemnité égale à 20 pour 100 de l'impôt foncier, indemnité qui sera payée par les usines. C'est donc là une industrie éminemment insalubre et que l'on verrait disparaître sans regrets.

Les bénéfices, que procure un semblable traitement, sont de 1 fr. 50 à 2 francs par tonne de pyrite à 1 1/2 ou 2 pour 100 de cuivre. D'après les calculs de M. Hollway, les bénéfices seraient pour les mêmes teneurs de 13 à 14 francs par tonne en employant son procédé.

Il existe, d'ailleurs, des gisements considérables de ces pyrites pauvres, à Cuba, en Australie, en Amérique du Sud et au cap de Bonne-Espérance; la nouvelle méthode de traitement pourrait en tirer parti, car leur pauvreté n'en permet pas l'exportation.

M. le Président remercie MM. Gautier, Pourcel et Regnard de leur intéressante communication.

TRANSMISSION DES FORCES EXTÉRIEURES

AU TRAVERS

DES CORPS SOLIDES

PAR M. A. LEGER.

> Il faut continuellement rappeler notre esprit à l'expérience, à l'examen détaillé de la nature; c'est le seul moyen de nous garantir contre l'erreur. (DE DION.)
>
> (*Discours d'inauguration*, 1877.)

Dans une précédente étude, la lumière polarisée nous a servi à analyser la *constitution moléculaire des corps trempés;* elle nous a permis de démontrer directement que la trempe produit un véritable frettage permanent des corps auxquels elle est appliquée. Au cours de ces recherches, nous avons dû étudier le cheminement des forces extérieures au travers des corps non trempés, pour arriver à faire la synthèse du système de forces extérieures que reproduit artificiellement un état moléculaire analogue à celui que provoque la trempe.

Les résultats intéressants que nous avons obtenus nous ont encouragé à reprendre et à généraliser ces observations, à analyser sous leur forme sensible les principaux faits de la résistance intime ou moléculaire des matériaux, à vérifier ou à rectifier les hypothèses sur lesquelles reposent les plus importantes théories, appuyées souvent jusqu'ici sur les seules observations possibles de déformations superficielles. Nous avons ainsi entrepris de passer en revue la transmission intérieure des forces appliquées aux solides dans les quatre ordres de déformation que l'Ingénieur soumet à ses calculs : *compression*, *extension*, *flexion*, *torsion*.

Les déformations moléculaires produites sur diverses matières par

des efforts semblables et semblablement appliqués sont certainement comparables et ne diffèrent que par leur valeur relative; ces actions sont régies par un petit nombre de lois générales qui peuvent intervenir avec des prédominences diverses en passant d'un corps à l'autre, mais manifestent toujours leur inséparable influence. C'est ainsi que l'acier, la fonte, le verre (on ne résiste plus guère à l'admettre) se présentent avec des propriétés physiques de même ordre, quoique de degrés différents : ils s'allongent, fléchissent, se contractent, se tordent, par exemple, plus ou moins dans les mêmes circonstances, mais toujours de la même façon; ils jouissent même tous ensemble de cette propriété, la plus singulière et la plus capricieuse de toutes, la faculté de se *tremper*.

Dans ce concert, le verre semble fait tout exprès pour trahir les secrets des déformations intimes sous l'action des forces extérieures, en raison de ses deux propriétés précieuses : la *transparence* et la *bi-réfringence* de ses parties soumises à un effort.

Pour les corps fibreux, comme le bois, le fer laminé, etc., il est difficile de faire des observations sur des corps transparents similaires; le mica, le gypse s'écrasent aux points pressés sous des efforts très faibles, avant de rien laisser apparaître. Toutefois, l'analogie complète trouvée entre les figures polarisées produites dans le verre et les déformations matérielles observées sous des efforts identiques dans des corps formés de lames de plomb juxtaposées concentriques, pourrait autoriser déjà l'induction qui étendrait à tous les corps, grenus, fibreux, lamellaires, les indications précieuses que va nous fournir l'étude du verre; nous tenterons de démontrer directement l'exactitude de cette assimilation générale.

Polarisation.—Nous n'avons pas à refaire ici l'histoire des phénomènes de polarisation; nous allons rappeler brièvement les propriétés dont nous nous proposons de tirer parti.

Les matières bi-réfringentes taillées en lames minces, comme le mica, le gypse, le spath d'Islande, le cristal de roche, le verre (quand il est trempé, comprimé ou dilaté) colorent la lumière polarisée qui les traverse.

La lumière polarisée s'obtient facilement par le passage de la lumière naturelle ou artificielle, par réfraction, au travers d'un premier cristal bi-réfringent (quartz, tourmaline, mica, etc.), ou par réflexion sous un

angle convenable sur un miroir noir, glace polie ou pile de glaces (sous l'angle de 35°); cette partie de l'appareil est le *polariseur.*

Pour que les phénomènes de polarisation chromatique soient nettement perçus par l'œil, il faut observer les rayons polarisés, après leur passage à travers le corps étudié, à l'aide d'un *analyseur*, comme un prisme de Nicol, qui recompose les vibrations déviées suivant deux directions rectangulaires dans la substance bi-réfringente, et les ramène dans un plan commun.

La lumière polarisée a permis de vérifier l'unité parfaite des lois physiques qui président à la transmission des vibrations lumineuses, sonores et calorifiques au travers des corps; on peut aujourd'hui, sans trop de hardiesse, l'appliquer à l'étude des vibrations mécaniques suscitées sur leur passage par les forces qui traversent ces mêmes corps, et admettre que les réactions moléculaires sont toujours étroitement associées dans ces quatre ordres de phénomènes.

Colorations produites. — Les irisations du verre trempé ou comprimé apparaissent particulièrement vives pour deux positions du prisme de Nicol : la section principale (menée par les petites diagonales du rhombe) étant normale ou bien parallèle au plan de polarisation, que nous supposerons, dans tout ce qui va suivre, *vertical*, c'est-à-dire normal à un miroir plan disposé horizontalement; toutefois, dans l'une et l'autre position, les colorations obtenues à la même place sont complémentaires les unes des autres.

Dans un barreau de verre non trempé ou libre de toute action extérieure, la section apparaît, dans la lumière polarisée (fig. 1, pl. 135), uniformément claire et vitreuse, comme à l'œil nu, absolument *neutre.* Mais si ce barreau est trempé, ou si, non trempé, il est fretté ou soumis à une suite continue de forces normales à la surface extérieure, le plan principal de l'analyseur étant maintenu vertical, la section apparaît comme remplie de lumière blanchâtre ou *laiteuse*, quand la compression est médiocre; remplie d'anneaux concentriques irisés lorsque la pression ou la trempe est plus forte, et dans tous les cas l'image est nettement recroisée par une croix obscure.

Si, pour la même position du Nicol, on tourne sur lui-même le cylindre de verre, le spectre ne varie pas, la croix noire parcourt successivement toute la section en gardant ses branches dans les plans, vertical et horizontal, fixes de polarisation.

Si, au contraire, le Nicol tourne de 90° sur le barreau maintenu fixe, l'image se brouille; mais, quand le plan principal est devenu horizontal, la croix est devenue laiteuse, le reste de la section est devenu obscur, de laiteux qu'il était précédemment, ou bien les irisations se présentent avec les mêmes anneaux aux mêmes places, mais de couleurs complémentaires des premières.

Quand le barreau non trempé est simplement comprimé suivant un diamètre unique, vertical, on aperçoit des ellipses en queue-de-paon tangentes aux points pressés, et englobées dans une ellipse laiteuse dont le grand axe est la ligne pressée (fig. 2), ellipse recroisée encore par une croix obscure : au delà la lumière est neutre ; c'est l'apparence obtenue quand le plan principal du Nicol est vertical ; quand le diamètre pressé est tourné horizontalement, l'aspect ne change pas.

Si le Nicol tourne de 90°, on a l'image complémentaire; entre ces positions rectangulaires du barreau et du Nicol, la section se présente brouillée, remplie de lumière laiteuse, et la croix obscure disparaît pour faire place à des courbes hyperboliques dont la croix primitive représente les asymptotes.

Discussion des colorations et irisations obtenues. — Comment interpréter, rapportées toujours à une même position du prisme (plan principal ou diamétral *vertical*), ces diverses apparences, lumière laiteuse ou irisée, parties obscures?

Nous savons déjà que les parties *neutres* marquent les points en équilibre naturel parfait.

Dans le cylindre trempé ou fretté, soumis à une suite d'efforts dirigés suivant les rayons, pendant que le barreau tourne sur lui-même, la croix obscure est *folle*, elle appartient à tous les systèmes de diamètres rectangulaires qui viennent se présenter tour à tour dans les plans rectangulaires de polarisation; mais ces diamètres conjugués qui portent la croix obscure, sont pressés alors parallèlement ou normalement aux plans de polarisation, tandis que, en dehors, dans les parties latérales, les rayons obliques à ces plans, pressés suivant leur direction, oblique aussi, sont marqués par la lumière laiteuse ou irisée.

Nous pouvons citer d'autres observations concordantes.

Pour le cylindre pressé suivant un diamètre unique, ou deux diamètres rectangulaires, la croix obscure attachée à ce ou à ces diamètres fig. 2 et 3), quand ils se trouvent dans les plans de polarisation, dis-

paraît et devient laiteuse dès qu'ils en sortent et deviennent obliques à ces plans ; en raison de la symétrie de la figure par rapport aux deux axes de l'ellipse marqués par les branches de la croix, aux lignes de contact des quatre secteurs, il se produit évidemment des actions et réactions normales aux lignes de joint ; ce sont les parties soumises à ces efforts ou à ces vibrations parallèles aux plans de polarisation qui restent obscures; dans la rotation du cylindre, en s'inclinant sur ces plans, ces points deviennent laiteux, jusqu'à ce que le système de leurs diamètres rectangulaires revienne de nouveau dans celui des plans de polarisation.

Dans ces positions obliques du diamètre pressé, on aperçoit des courbes obscures régulières (hyperboles), qui sont le lien ou l'enveloppe des points soumis à des efforts ou à des vibrations parallèles aux plans de polarisation.

Dans un prisme droit pressé contre un plan par une force unique (fig.8), on trouve encore une zone obscure le long de la surface d'appui avec une branche unique abaissée du point d'application sur la face appuyée ; c'est une modification de la demi-figure semblable que l'on obtenait avec deux forces diamétralement opposées.

La force appliquée se transmet d'abord aux points touchés par une série double ou triple d'ondes elliptiques irisées ; ces ondes ne sont pas de simples apparences d'optique : le verre s'écaille suivant leur contour, en se détachant suivant des surfaces ondulées et ridées de véritables vagues persillées de stries divergentes. Au delà des auréoles elliptiques en œil-de-paon, la force se propage vers la base d'appui ou le petit axe de symétrie, non pas en lignes droites, mais en se diffusant suivant des courbes en *S* ou en queue-de-triton divergentes, que nous retrouverons toujours, ce que vérifient d'ailleurs les stries observées sur le verre après la cassure. Dans les parties médianes, les forces moléculaires se rapprochent des plans de polarisation, et il est facile d'expliquer les vibrations rectangulaires qu'elles accusent : dans le sens de la force, on a les pressions directement transmises par cette force ou par le plan d'appui, transversalement, on trouve les tensions résultant du gonflement qui tend à séparer les deux queues-de-triton latérales. C'est cette tension transversale qui produit la rupture de la pièce suivant le prolongement de la force, cassure nette, sans fragments ni esquilles, comme résultant d'une détente brusque, à la suite de laquelle la croix disparaît presque complètement.

Les branches verticale et horizontale de la croix présentent souvent des colorations d'intensités différentes, ou sur la même branche les intensités vont en s'affaiblissant à partir des points d'application des forces extérieures ; on en peut conclure que les vibrations sont plus intenses dans une direction que dans l'autre, ou que ces vibrations diminuent d'intensité à mesure qu'on s'éloigne des points touchés ; la force appliquée se diffuse, se perd dans la masse et sur la surface intéressée de la base ; par les colorations moins vives d'une plaque de verre formant l'appui, on peut vérifier que, sur le prolongement de la force, la base est moins fortement pressée qu'à droite et à gauche, aux points de tangence des courbes en *S*.

Les lignes de séparation des parties laiteuses d'avec les parties obscures ou les parties neutres, lignes suivant lesquelles les forces intérieures éprouvent des changements brusques de direction, sont les lignes de cisaillement intérieur, de voilement ou de rupture, comme le vérifient les expériences.

Intensité et gamme des colorations. — Dans ces observations, il importe de bien distinguer les parties *obscures* (dont la teinte se rapproche de la coloration lie-de-vin pure ou *teinte neutre* un peu rougeâtre) et qui marquent les points dont les réactions moléculaires vibrent dans les plans parallèles aux plans de polarisation, des parties claires ou *neutres* à la lumière polarisée. Faute d'avoir nettement distingué ces deux indications si différentes, quelques expérimentateurs ont mal *lu* dans le verre, et ont été conduits à des conclusions absolument erronées.

La *lumière laiteuse* marque la première intensité des efforts obliques ou diffus, ou vibrant dans des plans obliques aux plans de polarisation ; les forces intérieures croissant, on voit apparaître successivement, à la suite du *laiteux*, la gamme chromatique suivante : *jaune-orangé-rouge-violet-bleu-vert*. La zone *obscure* se teinte également, sous des efforts croissants, dans la gamme complémentaire correspondante : *violet-bleu-vert-jaune-orangé-rouge*.

Le Nicol tourné à 90° donne aux mêmes plans les virements complémentaires des colorations primitives, le laiteux devenant obscur, le jaune violet, etc., et *vice versâ*.

Ces colorations, indices certains de pressions croissantes, permettent d'estimer d'un point à un autre les variations de pressions relatives.

Les zones laiteuses pâlissent sur les bords et sont parfois, pour des pressions faibles, difficiles à limiter; on y parvient en faisant tourner le Nicol : cette rotation projette des courbes sombres plus apparentes qui circonscrivent plus nettement les parties primitivement laiteuses.

Verre trempé. — On trouve souvent, comme nous l'avons établi ailleurs, des verres naturellement et inégalement trempés par le refroidissement à l'air ou par le moulage dans des masses plus froides, trempes que le recuit ne parvient pas toujours à effacer; il faut s'assurer, en vue des expériences que nous allons indiquer, de pièces non trempées, sans quoi les irisations de la trempe viendraient se superposer à celles dues aux actions extérieures, et brouiller ou fausser les résultats. Certaines déductions erronées ont eu pour cause certaine quelque fâcheuse influence de cette nature.

Ce mode d'analyse va nous permettre d'isoler d'un seul coup, dans un solide soumis à l'action de forces extérieures, comme des charges isolées ou réparties et des réactions d'appui, par exemple :

1° Les zones *neutres* ou indifférentes aux actions extérieures;

2° Celles qui sont le siège de forces ou de vibrations intérieures *horizontales* ou *verticales ;*

3° Celles que traversent des forces ou des vibrations *obliques*,

et nous retracera les lieux de ces divers groupes ou faisceaux de forces à l'intérieur du corps considéré, et en quelque sorte l'anatomie de la constitution moléculaire sous l'effort des forces appliquées.

Nous allons, à la clarté de la lumière polarisée, passer en revue les principaux problèmes de la Résistance des matériaux, en n'abordant, dans ce premier essai, que les cas les plus classiques de la pratique courante; nous chercherons à découvrir, par cette analyse plus intime, les divers modes de transmission des forces extérieures, les véritables déformations intérieures, points sur lesquels nous avons été jusqu'ici réduits aux conjectures, et à vérifier l'exactitude des hypothèses admises par les théories mathématiques que la mécanique rationnelle met au service de l'Ingénieur.

I. — COMPRESSION.

Pour le verre, la compression est plus facile à observer que l'extension, contrairement à ce qui se passe pour les autres corps. Pour étudier la traction, il est difficile de fixer des lames de verre, qui glissent entre les mâchoires des étaux sous les charges capables de provoquer les irisations, ou qui s'écrasent sous les pressions nécessaires pour assurer une adhérence suffisante. Les efforts de compression sont plus faciles à produire, à régler au moyen d'étaux, de colliers à vis, permettant de porter sans secousse la charge jusqu'à la limite de rupture.

Dans tous les exemples qui vont suivre, les figures polarisées se développent en restant semblables à elles-mêmes à mesure que les efforts grandissent; nous prendrons généralement le phénomène près de la rupture pour avoir des images plus nettes et plus tranchées; cet état limite est d'ailleurs celui dont on doit le plus se préoccuper.

Cas d'un solide pressé par deux forces diamétralement opposées. — Dans une étude antérieure[1], nous avons examiné incidemment les effets produits par deux forces diamétralement opposées agissant sur un cercle, un carré, un rectangle, puis l'action de deux forces pressant les extrémités de deux diamètres rectangulaires. Nous ne les décrirons pas de nouveau ; nous reprendrons seulement, pour les compléter, les expériences faites sur deux forces opposées, avant de passer aux cas les plus ordinaires de la pratique, de solides pressés sur leur base inférieure par des forces isolées ou par des forces uniformément réparties agissant sur leur base supérieure.

Lorsque deux forces opposées agissent aux extrémités d'un diamètre, d'un cercle, d'un carré ou d'un rectangle (fig. 2, 4, 5,6), il se forme à chaque extrémité une série (au moins double) d'ellipses croissantes irisées des couleurs les plus vives du spectre, toutes tangentes aux points touchés et marchant les unes vers les autres; le système est tra-

1. *Constitution moléculaire des corps trempés*, pages 7 et suivantes.

versé par une croix obscure, et fondu dans une ellipse générale laiteuse qui a pour grand axe le diamètre touché et dont le petit axe grandit avec la pression, sans jamais dépasser, au moment de la rupture, les 4/5 du grand axe. Au delà de cette grande ellipse, le verre se présente neutre à la lumière polarisée.

Les ondes irisées sont le lieu des points le plus vivement pressés par des forces obliques, la lumière laiteuse marque les points intéressés par d'autres forces obliques plus diffusées dans la masse; la croix obscure circonscrit la zone sollicitée par des efforts normaux ou parallèles aux plans de polarisation.

Si l'on coupe latéralement la plaque, le prisme ou le cylindre suivant les lignes A′D′, C′B′ ou *ad* (fig. 6) parallèles ou obliques à l'axe, la courbure de l'ellipse au sommet ne change pas, la figure polarisée est seulement tronquée; la lumière laiteuse devient toutefois plus vive dans la partie diminuée, l'effort par unité de surface croissant pour la section transversale moindre.

Les pressions extérieures[1] se transmettent visiblement de O en O′, à travers le corps, non pas suivant des lignes droites, mais suivant des ondes elliptiques divergentes, sensibles par les traces polarisées avant rupture, et, après cassure, visibles souvent à l'œil nu par les stries apparentes suivant les mêmes directions; ces ondes viennent se rencontrer et se *butter* dans la zone marquée par la branche obscure horizontale, zone de redressement normal de ces forces ou vibrations obliques, en produisant un gonflement ou refoulement transversal, une poussée au vide, comme le produirait une pression analogue sur un ellipsoïde semblable creux et élastique. La branche verticale obscure est le lieu des points comprimés dans le sens des forces extérieures appliquées, et sollicités en outre par cet effort transversal, qui produit suivant cette branche verticale une rupture très franche, sans les esquilles que produirait un simple écrasement direct suivant cette direction.

Si la longueur du solide est très grande par rapport à sa largeur ou à son diamètre, on a encore aux extrémités vers les points d'application des forces extérieures (fig. 7), comme bases constantes de diffu-

1. On peut démontrer que les pressions extérieures ne se transmettent pas suivant le diamètre commun O O′ : lorsqu'on évide ou perce la plaque sur ce diamètre O O′, les pressions ne peuvent plus se transmettre d'une extrémité à l'autre de ce diamètre, la figure polarisée ne change pas.

sion des forces, les demi-ellipses laiteuses, avec les auréoles irisées et les amorces de la croix obscure, mais entre ces deux têtes, en remplacement de la simple branche horizontale de la croix, on trouve intercalée une zone plus haute de lumière violette, marquant le redressement dans une direction longitudinale des forces obliquement venues des deux foyers de diffusion.

Si le solide pressé se compose de prismes ou de cylindres superposés, comme les assises d'une maçonnerie ou d'une colonne, la transmission intérieure ne se produit plus comme dans une masse continue; nous étudierons ultérieurement cette application.

Dans tous les cas où le solide supporte l'effort d'une force isolée, si la section transversale du solide est irrégulière, polygonale ou dissymétrique par rapport à la direction prolongée de cette force, ou se trouve discontinue (en croix, à nervures, etc.), la pression se propage au travers du corps, à partir du point d'application, suivant un ellipsoïde ou un solide de révolution dont le méridien est donné par l'épanouissement de la figure polarisée dans la plus grande section droite libre du solide pressé, et le solide polarisé se trouve lui-même tronqué ou évidé suivant les troncatures et les évidements du corps comprimé; l'examen d'un rectangle sous ses différentes faces le montre nettement.

Cas d'un solide pressé par une force isolée contre un plan. — Lorsque les solides sont pressés normalement par une force isolée contre une base fixe, on doit considérer plusieurs cas, suivant que le diamètre de la surface d'appui est inférieur, égal ou supérieur à la hauteur du solide.

1° *Diamètre de l'appui inférieur ou égal à la hauteur.*

a)—Si ce diamètre est compris entre la hauteur et sa moitié, on voit apparaître au point touché les auréoles irisées, et la première moitié de l'ellipse générale laiteuse se prolonge en se recourbant de part et d'autre en S ou en queue-de-triton pour aller se terminer vers les angles de la base inférieure (fig. 8), les deux ailes étant séparées et comme rejetées par une demi-croix obscure, formée encore par le resserrement de deux courbes hyperboliques accolées; les angles de la base, comme en porte à faux, offrent des apparences d'œils-de-paon, avec amorces de branches obscures, indices d'une compression plus vive en ces points mal soutenus vers le vide.

On aperçoit nettement, dès ce premier exemple, une distinction bien tranchée entre les modes de transmission intérieure d'une pression appliquée en un point et d'une pression agissant sur une surface : la pression originelle se divise toujours en deux courants curvilignes, convergeant vers le point pressé dans le premier cas, divergeant vers les extrémités de la base dans l'autre.

Si l'intensité de la force augmente, les ailes de la courbe en S se teintent en jaune, etc., suivant la gamme indiquée, pendant que la croix passe elle-même au violet, etc.

Si le diamètre du solide surpasse celui de la base d'appui, l'ellipse dépasse l'aplomb de cet appui, par un renflement transversal dont le diamètre peut atteindre jusqu'aux $\frac{3}{2}$ de celui de l'appui.

Si, latéralement, le solide était coupé par des plans verticaux ou obliques, tels que $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, ou s'il affectait un profil quelconque comme ABC (fig. 8), la coupe polarisée serait simplement tronquée suivant ces profils, avec augmentation de teinte vers la partie réduite ; il en serait de même si la force n'agissait pas sur le centre de figure de la base supérieure.

b) — Quand le diamètre de la base d'appui est plus petit que la moitié de la hauteur, on aperçoit, entre les deux amorces caractéristiques des plans et des points pressés, une zone horizontale obscure, qui croît en hauteur à mesure que la hauteur du solide augmente par rapport à la base.

Ainsi les têtes ou amorces, vers les bases, aux deux origines de la diffusion des forces, sont des figures à peu près constantes (fig. 10), fonctions de la largeur de l'appui, figures qui se raccordent et se fondent quand la hauteur du solide ne dépasse pas le diamètre du plan d'appui ; si la hauteur est plus grande, les deux zones extrêmes de diffusion laissent entre elles une partie intercalaire plus ou moins haute, sombre comme l'ancienne branche horizontale de la croix obscure ; cette zone intermédiaire d'une teinte assez régulière, obscure ou violette, suivant l'intensité de la pression, est le lieu des forces ramenées à vibrer parallèlement aux plans de polarisation avec une répartition assez uniforme.

Si le solide est plus large que la base d'appui, on observe encore un renflement d'un diamètre supérieur, d'environ la moitié, à celui de la base.

Si le solide ne dépasse pas en largeur le diamètre de la base, comme dans le cas d'un poteau, d'un pilier, d'une colonne, etc., la figure polarisée reste la même que précédemment, mais tronquée latéralement à l'aplomb de l'appui (fig. 11, pl. 135); la partie médiane prend une teinte violette, indice d'une pression plus grande causée par la réduction de section transversale.

Si la force ne pressait pas la base normalement, ou si cette base était oblique par rapport à l'axe du solide, la figure polarisée se présenterait non plus symétrique, mais contournée et fléchie (fig. 12, pl. 135), la ligne médiane obscure serait courbée, et les ailes latérales seraient déformées dans ce mouvement.

Comme d'ordinaire, pour affirmer que ces images ne sont pas de simples jeux d'optique, les ruptures se font, dans tous les cas, en suivant la ligne médiane, généralement marquée par une raie plus intense, ou suivant les lignes de séparation des parties laiteuses d'avec les parties neutres ou obscures, et les lignes de fracture épousent les courbures des ondes polarisées.

Dans ces expériences, si le corps qui forme l'appui de la base, au lieu d'être constitué par une substance au moins aussi dure, aussi résistante que le verre, est plus malléable ou se trouve séparé du solide par un garnissage quelconque plus ou moins élastique ou compressible, on n'a plus à la base les figures décrites avec leurs deux queues-de-triton isolées par une zone obscure, marquant par leurs couleurs des tensions bien tranchées : on observe alors une teinte beaucoup plus égale, obscure ou violette, suivant la pression, manifestant des tensions intérieures beaucoup plus égales et mieux réparties, comme on les trouve dans la partie intercalaire des solides élancés.

2° *Diamètre de l'appui supérieur à la hauteur du solide.*

Si la base pressée est, au contraire, plus grande que la hauteur, la figure polarisée s'épate dans le sens de la base.

Tant que le diamètre de la base pressée ne dépasse pas environ deux fois et demie la hauteur du solide, on observe, à partir de l'œil-de-paon, au point d'application de la force (fig. 13), un segment d'ellipse laiteuse tangente à la base supérieure et ayant pour corde inférieurement le diamètre pressé ; ce segment est occupé par une demi-croix obscure.

Vers les extrémités de la base, on voit apparaître les indices de plus grande pression, œils-de-paon avec barres obscures, etc.

Si la base d'appui est très grande par rapport à la hauteur et se trouve constituée par une substance moins compressible que le verre, la base du segment elliptique n'offre pas un diamètre supérieur à *deux fois et demie* la hauteur, et les extrémités laiteuses s'éteignent naturellement sans œils-de-paon.

Lorsque la base supérieure est pressée, non pas en un point, mais suivant une surface de diamètre d, la pression gagne la base inférieure suivant les mêmes courbures latérales, et va intéresser sur cette base une zone de diamètre D tel que la différence $D - d$ ne dépasse pas *deux fois et demie* la hauteur du solide.

Si la base d'appui est plus compressible que le verre, la zone intéressée s'étend plus loin, et la figure polarisée présente une modification importante : au lieu d'avoir, de part et d'autre de l'œil-de-paon du point touché, une courbe laiteuse, elliptique, continue, convexe, formée de deux S tangentes à la base supérieure, on obtient alors deux courbes laiteuses concaves à double courbure (fig. 14), qui s'échappent en rebroussement du point touché comme deux branches d'accolade ; ce sont encore deux S, mais renversées et reposant leurs pointes normalement au point touché et aux extrémités de la base ; ces deux courbes enferment encore entre elles une demi-croix obscure, les reins dans la partie concave sont marqués par une teinte sombre qui complète alors le contour elliptique continu tangent au point touché. C'est un nouveau type de figure polarisée caractéristique qui se rencontrera fréquemment par la suite dans l'étude des phénomènes de flexion.

Les cassures se produisent sur le milieu des branches verticales sombres, ou plus souvent encore, pour les solides longs surtout, suivant les lignes de séparation des parties obscures et des parties laiteuses (fig. 10, pl. 135), en isolant alors au milieu une aiguille correspondant à la branche verticale obscure.

Cas d'un solide comprimé entre ses deux bases. — Si le solide est pressé entre deux plans parallèles, on voit apparaître vers chacune des bases la figure caractéristique de la surface comprimée.

Si le diamètre du solide est plus grand que le diamètre d'appui, la

lumière polarisée se diffuse au delà des appuis suivant un renflement elliptique présentant au maximum suivant l'axe transversal, comme nous l'avons observé pour deux forces diamétralement opposées, un excédant sur le diamètre des appuis ne dépassant pas les $\frac{4}{5}$ de la hauteur du solide.

Si les plans compresseurs ont une dureté égale ou supérieure à celle du verre (fig. 15), les doubles queues-de-triton laiteuses qui partent des arêtes se rencontrent sur un renflement commun vers l'extérieur et vers l'intérieur à la section médiane, en enserrant entre elles une queue d'hironde et une traverse obscures; vers les arêtes on aperçoit des apparences d'œils-de-paon.

Quand la compression croît, les parties laiteuses se colorent en orangé, vers les bases pressées.

Si le solide s'allonge, on obtient encore vers les têtes les doubles queues-de-triton symétriques avec la bande longitudinale obscure (fig. 17, pl. 135), mais la traverse augmente de hauteur.

Quand les bases sont pressées par des plaques plus élastiques ou compressibles que le verre, égalisant mieux sur toute la surface la pression transmise, les colorations se fondent (fig. 16), et l'on observe des teintes obscures ou violettes plus étendues et plus uniformes.

Si les surfaces comprimantes étaient de l'une à l'autre base irrégulièrement dures, au lieu des figures symétriques précédentes (fig. 18), on aurait des têtes dissymétriques par rapport à la section transversale médiane, et la double queue d'hironde appuierait sa base la moins large sur la surface la plus dure.

Les solides éclatent latéralement en dégageant la double queue d'hironde obscure suivant la gorge marquée par la surface séparative du noyau obscur d'avec le bourrelet laiteux qui l'entoure; ce qu'Hodgkinson avait obtenu dans certains cas, en écrasant de petits cylindres en fonte (fig. 17 *bis*, pl. 135).

Si les bases du solide sont comprimées sur toute leur surface, les diffusions laiteuses manquant d'espace latéralement pour se produire, sont ramenées et redressées dans la largeur restreinte du solide, et l'on n'aperçoit plus que des teintes obscures ou violettes.

Si la pression vient à croître, la teinte générale, d'obscure qu'elle était, se zèbre de queues-de-triton se développant d'une base à l'autre et offrant des colorations diverses, bleuâtres, rougeâtres et même ver-

dâtres, marquant des pressions d'intensité variable; aux surfaces séparatives de ces zones se trouvent des surfaces de rupture (fig. 23 *bis*), et à leur rencontre avec la surface latérale du solide se dessinent ces lignes ou fissures imbriquées qu'obtenait encore Hodgkinson dans ses essais de rupture de cylindres en fonte.

Dans toutes ces expériences sur les pressions transmises de surface à surface, il faut obtenir un contact parfait entre les faces bien dégauchies et même rodées des solides en verre et des plaques, sans quoi la plus imperceptible saillie deviendrait un centre de pression, comme le ferait une force isolée, et brouillerait ou fausserait les résultats. La sensibilité du verre pour ces actions est extrême; on en peut d'ailleurs tirer un excellent parti, en se servant de la gamme des colorations croissantes qui se développent sous des efforts un peu variables, pour mesurer les intensités relatives des forces qui agissent aux divers points d'un plan donné.

Cas d'un solide évidé.—Si le solide est évidé, comme une colonne creuse, et chargé suivant ses deux bases, on aperçoit des amorces d'œils-de-paon vers chaque arête extérieure et intérieure (fig. 19), puis un renflement laiteux vers l'extérieur séparé par une ligne sombre, bombée elle-même dans le même sens, de couches successives présentant des irisations ascendantes, violet, orangé, etc., à mesure qu'elles se rapprochent de la surface intérieure; on retrouve là, transporté sur le seul anneau restant, ce que l'on observait dans la colonne pleine.

Poinçonnage. — Le solide peut être comprimé sur sa base supérieure par un plan limité, tandis que sa base inférieure repose sur un appui évidé, comme il arrive dans le cas du poinçonnage.

On observe alors, dans une section méridienne, à partir de la base supérieure, une double queue-de-triton laiteuse ou teintée très renflée à l'origine, allant reposer son extrémité vers le bord tranchant ou l'arête vive de l'évidement (fig. 20); sous cette pression, l'œil-de-paon apparaît avec sa traverse obscure; entre les deux branches se développe une queue d'hironde dissymétrique obscure. Le renflement extérieur fait tout à fait pressentir le renflement latéral de matière, dont les expériences de M. Tresca ont rendu compte (fig. 23, pl. 135)[1].

1. M. Tresca a bien voulu sanctionner nos observations et confirmer le fait de la localisation de la pression au pourtour des surfaces d'appui, en faisant remarquer que, dans le

Les études sur la flexion ramèneront des figures semblables.

Cisaillement. — Cette queue-de-triton fortement renflée dans le sens transversal et vivement teintée caractérise les efforts qui se transmettent d'une arête fixe à une autre au travers des corps (fig. 21, pl. 135); on la rencontre dans tous les cas de cisaillement.

Solide composé d'éléments superposés. — Si le solide est composé d'éléments superposés, exactement jointifs et soumis à l'action d'une force appuyant l'ensemble contre un plan fixe, on se trouve en présence de plusieurs des cas étudiés précédemment : l'élément supérieur présente l'œil-de-paon au point pressé et les deux queues-de-triton convexes ou concaves suivant l'étendue de sa base inférieure (fig. 22); l'élément intermédiaire offre l'exemple du solide symétriquement comprimé suivant ses deux bases; l'élément inférieur présentera la même figure symétrique, si le plan fixe possède une dureté égale ou supérieure à celle du verre; si l'appui est plus compressible, on aura la figure indiquée pour ce cas particulier.

Sur le prolongement de la force extérieure, on n'aperçoit sur la deuxième plaque ni œil-de-paon ni coloration plus vive qui marque là une pression plus grande transmise directement au travers de la plaque supérieure.

Vérifications et expériences antérieures. — Ces ondes polarisées ne sont pas, nous le répétons, de simples jeux de lumière engendrés par quelque orientation intime des cristaux élémentaires comme dans le spath, le quartz, le mica, etc.; elles sont étroitement liées à la nouvelle constitution moléculaire du corps sous l'action des forces extérieures, et, après la cassure, on peut voir les sections apparaître ondulées et ridées, suivant les dernières figures polarisées du verre intact, et des gerbes de stries traverser ces ondes ou ces vagues dans le sens de la diffusion des forces intérieures; ces ondes marquent la déformation limite qui a précédé la fracture.

Ces déformations intérieures, révélées et circonscrites par la lumière polarisée, ont été vérifiées encore d'une façon tangible par d'autres expériences. Le gonflement transversal d'un solide sous un effort réparti sur ses deux bases, phénomène inverse du rétrécissement ou

poinçonnage, la face postérieure de la débouchure est toujours concave, bien que la face du poinçon soit plane.

striction dans l'extension, a été établi d'ailleurs par M. Tresca, dans ses belles expériences sur la compression et l'écoulement des solides (fig. 23); en comprimant un tube creux formé d'anneaux de plomb jointifs et concentriques, M. Tresca obtenait exactement le profil extérieur que donne la lumière polarisée; la constance des résultats obtenus dans deux cas aussi dissemblables, avec un corps homogène et bien soudé d'une part, et un corps lamellaire de l'autre, peut encourager à généraliser les phénomènes observés et à les admettre, dans les cas les plus divers, pour les corps fibreux, lamellaires, aussi bien que pour les corps grenus ou cristallins.

Les expériences de Vicat[1] et les observations précédentes ne viennent pas confirmer l'opinion de Gauthey et de Rondelet estimant qu'un cube de matière tendre ou granuleuse soumis à l'écrasement se divise en six pyramides ayant les six faces pour bases et leur sommet commun au centre du cube.

D'après l'image obtenue dans la section droite d'un cube pressé, suivant deux bases, on a une double pyramide ou plutôt une double queue d'hironde quadrangulaire, à section méridienne hyperbolique, dont les bases n'embrassent pas toute la surface des bases du cube; cette zone obscure est le lieu des points sollicités par des efforts parallèles aux faces du cube; tout autour, en bourrelet quadrangulaire, la zone laiteuse, renflée, est le siège des forces intérieures diffusées; la rupture se fera suivant une section droite médiane par longs éclats ou fentes de bas en haut, comme pour les pierres dures, ou par séparation et coincement des deux pyramides opposées, comme l'ont obtenu Vicat, de Dion et d'autres expérimentateurs, en opérant sur des prismes en pierre tendre ou en plâtre, ou enfin par le seul éclatement des bourrelets latéraux (correspondant aux parties laiteuses) dégageant plus ou moins également la double pyramide en queue d'hironde centrale, (correspondant à la partie obscure) comme l'a observé Hodgkinson[2] en écrasant des cylindres en fonte (fig. 17 *bis*, pl. 135).

D'autres fois, sur des prismes ou cylindres en fonte, on obtient la cassure en biseau ou en sifflet tracée en pointillé (fig. 16), suivant le plan oblique de rupture ou de glissement auquel avait été conduit

1. *Annales des ponts et chaussées*, année 1833, 2e semestre, pages 201 et suivantes.

2. *Report of the commissionners appointed to inquire into the application of iron railway structures*, London, 1849.

Coulomb[1] en analysant les phénomènes de rupture par compression; M. Thomasset a obtenu couramment ces cassures obliques, qu'Hodgkinson avait rencontrées aussi, mais d'une façon, ce semble, exceptionnelle. On pourrait expliquer ce clivage par le décollement ou le glissement suivant deux faces opposées de la double pyramide en queue d'hironde, avec rupture du noyau central dans sa partie rétrécie ou de moindre résistance.

M. Nickerson, dans un court essai sur l'état moléculaire des corps soumis à des forces extérieures[2], a dit qu'une lame de verre comprimée entre les mâchoires d'un étau, présente aux faces pressées deux bandes claires ou colorées, séparées l'une de l'autre par une bande obscure; à mesure que la pression augmente, les bandes extrêmes se colorent et s'élargissent en empiétant sur la région qu'il appelle *sombre* ou *neutre*.

M. Nickerson confondait évidemment les zones obscures et les zones neutres; de plus, nous n'avons jamais obtenu, aussi bien avec une plaque de glace à tranche polie qu'avec une lame posée de champ entre les mâchoires d'un étau, la figure indiquée : la bande obscure est toujours normale aux faces pressées; l'erreur de M. Nickerson provient sans doute de ce que sa lame à plat avait des bords irréguliers qui, par réfraction, donnaient des images complètement déformées.

La ligne *obscure* n'est pas du reste une zone *neutre* : une zone neutre, libre de toute force ou action intérieure, reste claire et vitreuse pour toutes les positions du Nicol, tandis que les zones obscures donnent des masses laiteuses ou colorées, vues au prisme oblique; nous avons donné une explication, calquée sur les faits, des efforts intérieurs caractérisés par ces zones sombres; et l'on ne peut se représenter d'ailleurs qu'une lame mince pressée fortement dans un étau ait une zone médiane neutre; que deviendraient donc les actions reçues par les surfaces? Au point de rencontre des deux systèmes de forces intérieures opposées, obliques, diffusées, quelconques, il y a certainement une ligne sollicitée par des actions et des réactions normales à cette ligne médiane; c'est la zone obscure, mais non point une zone neutre. Il faut aussi bien s'assurer que les pressions des mâchoires de l'étau sont bien réparties, qu'il n'existe pas de grains saillants qui

1. Académie des Sciences. *Mémoires des savants étrangers*. Tome VII. 1776.

2. *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, mars 1873.

agissent comme des forces isolées en donnant des auréoles, des ellipses et des croix obscures plus ou moins complètes.

Nous verrons plus loin que pour la flexion, les observations de l'ingénieur américain ont été entachées d'erreurs pareilles.

Conséquences pratiques. — L'examen des images polarisées obtenues à l'intérieur des corps transparents révèle les avantages ou les dangers que peut présenter l'application à un corps solide d'un effort donné, selon que cette force agit en un point ou qu'elle est répartie sur toute la surface d'une base par l'intermédiaire d'un autre corps compressible ou non.

Les colorations très vives ou très tranchées que l'on peut observer d'un point à un autre dénotent des états moléculaires, des tensions très variables de direction ou d'intensité, circonstance évidemment déplorable pour l'équilibre général et la bonne résistance du solide.

L'application de la force en un seul point d'une base plane, courbe ou hémisphérique, en engendrant ces auréoles elliptiques de très grande tension, présente les conditions les plus fâcheuses, comme l'avait vérifié, d'autre part, Hodgkinson.

La répartition de l'effort isolé sur la surface de la base supérieure, par l'intermédiaire d'un corps moins compressible que le solide, améliore déjà les conditions de résistance en supprimant les tensions très vives et dangereuses, et en intéressant un plus grand nombre de points ; mais elle conserve des tensions compromettantes vers les arêtes extérieures, et laisse subsister une zone intermédiaire obscure, avec des surfaces de séparation tranchées entre elles et les zones latérales laiteuses.

La répartition la plus égale, marquée par les teintes les plus fondues, et par suite le meilleur état d'équilibre intérieur sont obtenus visiblement par l'interposition d'un corps plus compressible.

Les pressions agissant hors de l'axe ou obliquement aux bases, développent de part et d'autre des tensions intérieures inégales et des courbures dangereuses.

Dans tous les cas, il se produit vers le milieu de la hauteur une tendance au gonflement transversal.

Comme conséquence pratique, on vérifie ainsi combien il est avantageux d'*asseoir* un effort par la plus grande surface possible avec interposition d'un corps relativement compressible, (garnissage en plomb,

en mortier, etc.), qui se tasse aux points plus pressés jusqu'au nivellement plus ou moins parfait des efforts répartis.

Si la pression est transmise par un corps moins compressible, il faut abattre les angles des arêtes par des chanfreins, des congés ou des arrondissements, pour supprimer le porte à faux, ou bien il faut les soutenir par un frettage (baguette, tore, quart de rond ou talon). Théoriquement, il conviendrait encore de donner à la plaque d'appui un bombement ou une convexité excessivement faible : la pression isolée se transmettant par les deux ailes, la plaque porte latéralement comme une selle en appuyant moins au milieu; on égaliserait mieux les pressions en augmentant très légèrement au milieu, sur le prolongement de la force, l'épaisseur de la plaque sans arriver cependant aux auréoles elliptiques; de cette façon on déchargerait un peu les ailes, on chargerait un peu plus le milieu, et on arriverait à une plus égale répartition intérieure.

Dans les constructions, on peut toujours prévoir le cas le plus défavorable, celui d'une pression mal répartie, n'intéressant qu'une partie des bases ou ne portant même que sur quelques points isolés (cales, graviers dans les joints, etc.) : il se produirait alors ou latéralement des bourrelets laiteux, ou vers les bases des auréoles et des queues-de-triton de diffusion oblique, avec tendance à la rupture ou au *décollement* suivant les lignes séparatives des zones laiteuse et obscure; il conviendrait alors, dans tous les cas, de renforcer le pilier (colonne, poteau, etc.), par une frette placée à moins d'un demi-diamètre environ ou d'un module à partir de chacune des bases, comme une double astragale.

Quant au gonflement transversal, commun à tous les cas, on devrait en défendre les solides par un frettage, cerclage ou renforcement, rapporté ou venu de fonte ou de taille vers le milieu de la longueur, en surplus des astragales dont nous avons parlé plus haut et qui ont plus spécialement la mission de s'opposer aux décollements possibles des ailes ou queues-de-triton obliques ou de diffusion vers les deux bases.

Si l'on est maître du profil à donner au support, il faut s'inspirer du tracé dicté par la lumière polarisée, marquant par une teinte uniforme toute la zone que les pressions intérieures savent se tailler elles-mêmes pour transmettre dans les meilleures conditions d'équilibre les pressions reçues par les bases : le profil extérieur a une courbure elliptique

symétrique, donnant au milieu, pour les charges pratiques de sécurité, un renflement total de diamètre à peu près égal aux 4/5 du diamètre des bases.

Le renflement des pièces destinées à résister à des efforts de compression longitudinale, bielles, colonnes, etc., est en conséquence une disposition fort rationnelle.

M. Nickerson, en opérant des compressions sur des cylindres ou barreaux de verre, a remarqué des anneaux colorés aux extrémités formant des vagues à la surface, et a cru reconnaître, en comprimant longitudinalement des tubes en cuivre, que ces tubes s'affaissaient en présentant des baguettes ou bourrelets repoussés, correspondant à ces anneaux; il recommandait, en conséquence, pour résister à ces déformations, d'armer de cercles ou de frettes les colonnes vers ces sections menacées.

Nous n'avons jamais observé ces vagues irisées que dans les compressions par des forces appliquées en un point, et encore ces auréoles ne s'étendent-elles pas jusqu'à la surface latérale.

M. Nickerson a pu être trompé par des irisations et auréoles propres à la trempe, et les barreaux de verre que l'on trouve dans le commerce sont presque toujours trempés naturellement par le fait de leur mode de fabrication; les images sont en outre faussées par la réfraction du contour cylindrique au travers duquel on les observe. Hodgkinson n'a observé, dans l'écrasement longitudinal des colonnes en fer creux (fig. 19 *bis*), la production de ces anneaux repoussés qu'à moins d'un demi-diamètre des bases; ce refoulement est provoqué là, par l'obliquité des efforts diffusés (fig. 19); on pourrait trouver encore un phénomène semblable vers les deux régions où les ailes laiteuses venues des bases se fondent dans la zone médiane obscure, sections pour lesquelles les forces intérieures obliques sont ramenées à être parallèles à l'axe, déviations qui affaiblissent la résistance de ces sections (fig. 17, pl. 135).

Pour les embases, plaques d'armatures, etc., destinées à répartir des efforts isolés sur des surfaces données, les profils des figures polarisées donnent les meilleurs tracés utiles, sans excédant de matière, pour la transmission naturelle des efforts; ce sont, suivant les cas, des profils en scoties, en arcs elliptiques, en branches d'accolades, en S; il sera toujours bon d'interposer un garnissage compressible, et, dans tous les cas, pour bien utiliser la surface d'appui, en dehors des cal-

culs de flexion, de donner à l'embase ou à l'armature une hauteur ou épaisseur, au point d'application de l'effort, d'*au moins* $\frac{1}{2,5}$ de la largeur ou du diamètre.

L'étendue de la base intéressée variera avec la nature du corps soumis à l'effort; elle sera, par exemple, une fonction du coefficient d'élasticité, E : ce coefficient varie pour le verre de 7,700 à 10,000 par millimètre carré; il est de 5,400 pour le cristal, 9,000 pour la fonte, 19,000 pour le fer, de 20 à 30,000 pour l'acier; les corps qui offriront à la déformation une résistance plus grande que le verre, comme le fer et l'acier, répartiront les actions transmises sur une plus grande surface que le verre ; ceux qui ont un coefficient plus faible, étendront moins largement la base intéressée; d'après leurs coefficients, la fonte, le zinc donneraient un résultat presque égal, mais le bois, le plomb auraient une base d'action plus restreinte, pour une même hauteur d'embase.

Pour les corps habituellement employés, le rapport, 2.5, du diamètre de la base à la hauteur est un *minimum;* s'il y avait interposition d'un garnissage compressible, la surface intéressée serait considérablement étendue.

Comme vérification, dans le rivetage de tôles d'épaisseur e, on donne d'ordinaire au rivet un diamètre $d = 2e$, à la tête un diamètre $d' = 1,66 . d = 3,33 \times e$; d'après ce que nous avons dit, pour le coefficient d'élasticité du fer, plus grand que celui du verre, la pression s'étendra à la face du joint intermédiaire sur un diamètre D tel que $D - d'$ soit *plus grand* que $2,5 \times e$; le diamètre intérieur D sera plus grand que $e \times (3,33 + 2.5)$ ou $5,88 \times e$, soit $6 \times e$ environ, précisément l'écartement pratique donné aux axes des rivets; les pressions émanées de deux rivets voisins se recouvriront, et la clouûre dans ces conditions sera étanche.

Loi du Trapèze. — Pour reconnaître si les constructions maçonnées sont convenablement établies au point de vue de la résistance des matériaux, on a dû faire une hypothèse sur la répartition des pressions à la surface des joints : on suppose que cette répartition s'effectue suivant la *loi du trapèze.*

Si une face ou un joint AB de largeur a est pressé normalement par

une force ou une résultante P (fig. 25), ne passant pas en son milieu, mais à une distance d'une arête, $c < \frac{a}{2}$, on admet que la pression se répartira sur une partie AD du joint égale à $3c$, et suivant les ordonnées d'un triangle ACD, passant de la pression élémentaire maximum en A, AC, qui ne devra pas excéder l'effort de sécurité R par unité de surface, à une pression nulle en D ; la somme des pressions élémentaires sera représentée par la surface du triangle et égale à P :

$$\frac{3cR}{2} = P.$$

Toute la partie latérale AE pouvant résister aussi bien que l'arête A, à la pression de sécurité R, AE peut en réalité supporter l'effort

$$cR = \frac{2}{3}P.$$

D'où, l'on conclut cette loi : pour que, à la surface d'un solide comprimé, l'arête la plus voisine du point d'application de la force ne soit pas écrasée, il faut que la partie comprise entre cette arête et la force soit capable de supporter avec sécurité les $\frac{2}{3}$ de l'effort total.

L'observation du phénomène par le moyen de la polarisation confirme-t-elle cette condition, admise par la pratique ?

Si nous considérons un prisme AB A′ B′ (fig. 26), pressant une surface A′ B′ sous l'action d'une force donnée F (sans tenir compte du poids du solide), dans le prisme l'effort appliqué se partage, comme on l'a vu, en deux ondes égales qui reportent et répartissent la force extérieure, à droite et à gauche de la direction prolongée de F, jusqu'à la base A′B′ ; du côté B′ le joint sera intéressé sur une longueur O′B′ déterminée d'après la hauteur OO′, et la pression totale supportée par O′B′, sera égale à celle de O′ A′, et la moitié de F ; l'arête A′ en porte à faux sera particulièrement chargée comme le montre l'œil-de-paon polarisé qui s'y développe.

Quant à la façon dont la pression émanée de O, après s'être dispersée entre AB A′B′, viendra rencontrer la face A′B′ de l'appui inférieur, on a vu, par les images polarisées de cette plaque de support, que la pression en O′ est toujours plus faible qu'à droite ; et à gauche on peut même la considérer comme nulle en O′ ; en effet, si l'on perce la

plaque ou le prisme d'un trou sur le trajet O O′ (fig. 26 *bis*), on interrompt bien évidemment toute transmission directe de la pression de O à O′, et pourtant la figure polarisée obtenue précédemment avec sa répartition et le contour des parties laiteuses ou obscures ne change pas, sauf l'apparition autour du trou d'un trèfle obscur, caractéristique d'un évidement dans tout corps pressé. Il en sera de même si le trou est percé à la base, vers O′.

La force originelle F se transmet donc à cette base comme par une selle ou un chevalet à deux patins; il sera toujours plus prudent de considérer la pression comme nulle en O′, et se répartissant sur les parties intéressées de la base suivant les ordonnées de deux triangles ayant O′ comme sommet commun, et comme ordonnée maxima A′*a*, la résistance de sécurité R à l'arête la plus rapprochée de O′ ou la plus chargée.

Dans ce triangle O′A′*a*, on doit avoir : $\frac{Rc}{2} = \frac{F}{2}$, $Rc = F$, la plus petite surface latérale intéressée doit être capable de supporter avec sécurité la ***pression tout entière***, condition de plus grande sécurité que celle déduite de la loi dite ***du trapèze*** qui conduit à prendre seulement :

$$Rc = \frac{2}{3}F,$$

c'est-à-dire la plus petite surface latérale capable de supporter les *deux tiers* seulement de la charge totale.

II. — EXTENSION.

Les phénomènes de polarisation que l'extension peut produire dans le verre, sont plus délicats à obtenir que les autres, en raison de la difficulté que l'on éprouve à fixer les lames soumises à la traction : les serrages nécessaires pour retenir les pièces les écrasent, et les épaulements de retenue se cassent facilement à la moindre traction en porte à faux.

Nous avons pu vérifier toutefois que la traction reproduit, dans les circonstances comparables, les phénomènes obtenus précédemment par compression.

Si l'on prend une plaque carrée, évidée circulairement (fig. 28), et qu'on la dilate en la refoulant par un tampon conique ou bien en chauffant le bord intérieur, on aperçoit un bourrelet de lumière laiteuse, traversé par une croix obscure folle, se dessiner tout autour, marquant un refoulement rayonnant et local des premières couches concentriques sous la pression développée; en continuant à presser ou à chauffer, le bourrelet s'élargit de proche en proche, jusqu'à gagner et remplir les quatre onglets quadrangulaires; la figure est alors traversée par une croix obscure, mais fixée et dirigée suivant les deux diamètres du carré. En poussant plus loin, on arrive aux irisations et aux queues-de-paon que nous avons décrites dans une précédente étude. Ce sont les figures que l'on obtenait par la trempe ou par le frettage continu de l'enveloppe extérieure; la polarisation dénonce donc par les mêmes signes sensibles les phénomènes inverses ou réciproques de compression et d'extension.

Si l'on soumet une plaque à la traction de deux forces opposées fixées à deux trous percés dans cette plaque, on voit apparaître, à partir des points touchés, deux segments elliptiques avec barre obscure (fig. 29), comme dans le cas de la compression par une force isolée, puis, en sens inverse, dans l'espace qui sépare les deux trous, deux autres segments elliptiques marchant à la rencontre l'un de l'au-

tre, tout comme dans la compression de cette zone par deux forces isolées diamétralement opposées : en complétant la figure, on aurait la croix obscure à branche horizontale plus ou moins épaisse.

Les deux segments elliptiques opposés et tangents aux points d'application sont séparés par deux onglets triangulaires obscurs, l'ensemble constituant autour de chaque évidement une sorte de croix de Malte de parties laiteuses et de parties obscures. La rupture se fait au droit du trou, dans la partie affaiblie, avant que la coloration polarisée puisse teinter toute la plaque ; cette rupture se fait ou par section droite dans la zone violette, ou bien suit d'abord quelque temps les lignes séparatives des parties laiteuses et des parties obscures pour s'achever ensuite en section droite au travers du violet.

Entre les points de traction, l'analogie de la figure avec celle obtenue naguère par compression, vient encore démontrer que les deux actions extérieures exercent des déformations intérieures de même ordre, mais réciproques ou inverses, et que la polarisation confond en les accusant d'une façon identique.

Dans le dernier cas, il y a prépondérance de la traction à la section médiane de la pièce, là où dominait précédemment la compression ; suivant la ligne qui joint les deux forces, il y a maintenant compression de part et d'autre, au lieu de dilatation comme autrefois ; cette compression latérale de l'extérieur vers l'intérieur engendre la striction.

Lorsque la traction s'exerce sur toute la largeur des bases, on a encore, tout comme dans le cas de la pression uniformément répartie, une queue d'hironde longitudinale obscure (fig. 30) ou même violette, et latéralement deux arcs convexes, laiteux ou orangés suivant les efforts en jeu, avec des œils-de-paon aux arêtes moins soutenues des deux bases.

Si l'une des extrémités était encastrée, on aurait dans l'encastrement la figure caractéristique en queue-de-triton que nous aurons fréquemment à analyser par la suite, et cette figure se souderait à celle de la traction.

Dans tous ces cas, les cassures s'opèrent en suivant les sections droites des zones obscures, ou suivant les autres lignes de moindre résistance séparatives des parties laiteuses et des parties obscures.

Dans les assemblages par axes, boulons, rivets, etc., résistant, non par l'adhérence due au serrage, mais par cisaillement, il est important

que les rivets garnissent le mieux possible des trous soigneusement percés, pour assurer le plus large contact possible, car s'il y avait appui seulement sur un arc très petit (fig. 27), il se déclarerait là des pressions locales considérables comme celles dénoncées par les œils-de-paon, avec des lignes de moindre résistance sur les contours, par suite des séparations ou des fissures entre les zones juxtaposées inégalement ou différemment tendues : de telles fissures se propagent dans la masse et provoquent la rupture ou la déchirure complète, alors que l'équilibre normal paraît parfaitement assuré.

III. — FLEXION.

Nous rappellerons sommairement sur quelles données expérimentales et hypothétiques repose la théorie de la *flexion plane.*

D'après la forme sensible que prend une poutre droite chargée et posée sur deux appuis, Galilée, Mariotte et Leibnitz avaient essayé de fixer les règles de la déformation, en admettant que toutes les fibres allaient en s'allongeant à partir de la forme concave, qui n'était pas modifiée dans sa longueur.

Cherchant les conditions d'équilibre entre les forces extérieures et intérieures pour une section déterminée, Galilée supposait que la résistance moléculaire par unité de surface T était constante pour tous les points de la section d'un solide rectangulaire de largeur b et de hauteur h, et prenant pour axe l'arête inférieure de cette section, Pl étant le moment de la force extérieure P agissant à une distance l de la section, il posait ainsi l'équation des moments :

$$Tb\,\frac{h^2}{2} = Pl.$$

Mariotte et Leibnitz plaçaient bien encore l'axe des moments au même point, mais ils supposaient que la force T était proportionnelle à la distance de la tranche considérée à l'axe; en conséquence, ils modifiaient ainsi l'équation précédente :

$$Tb\,\frac{h^2}{3} = Pl.$$

Avec une intuition et une clarté admirables, dans un mémoire oublié ou trop peu connu[1], Coulomb analysait, il y a cent ans, le problème avec toute la rigueur que l'on connaît de nos jours : il établissait que la rupture ne peut se produire autour de l'arête inférieure, mais autour d'un axe intérieur, et que la somme des *momentum* des ten-

1. Académie des sciences, *Mémoires des savants étrangers*, tome VII, 1776.

sions et des pressions moléculaires développées autour de cet axe, doit être égale à la somme des *momentum* des forces extérieures ; il ajoutait les deux conditions que les sommes des projections de toutes les forces intérieures et extérieures sur deux plans, vertical et horizontal, soient nulles.

C'est l'analyse que Navier ne fit que reproduire, lorsque, plaçant l'axe de rotation au milieu de la section, il donna, pour le cas précédent, l'expression actuelle :

$$T b \frac{h^2}{6} = P l.$$

Pour faire accepter, à la suite de Coulomb, ces notions exactes, il fallut les expériences que nous allons résumer.

Duhamel du Monceau, en entaillant plus ou moins profondément la face supérieure d'une poutre en bois posée sur deux appuis, et en mesurant les flexions, montra que l'extension ne partait pas de la face supérieure et qu'il se produisait une compression du côté de la face concave.

MM. Dupin et Duleau, en mesurant plus tard sur des solides fléchis les distances comprises entre des lignes préalablement tracées, normales aux deux faces supérieure et inférieure, établirent que l'allongement de la partie convexe est égal au raccourcissement de la partie concave, et qu'il doit exister une ligne longitudinale intermédiaire dont la longueur reste constante pendant la flexion.

En 1842, Hodgkinson admettait que cette ligne ou *axe neutre* se relève, quand la charge augmente, et remonte jusqu'à 1/7 de la hauteur à partir de la base supérieure.

MM. Dupin et Richard mesurèrent, en 1851, ces allongements et ces raccourcissements des semelles par le mouvement de languettes glissant dans des rainures sur les faces extrêmes et marquant directement les variations de longueur.

M. Barlow, en 1835, trouva que l'axe neutre passe par le centre de gravité de chaque section, et qu'il existe à côté des tensions longitudinales une résistance transversale croissant avec la flexion.

En 1856, MM. Morin et Tresca reprirent les expériences de MM. Dupin, Duleau et Richard, et les étendirent à des cas très nombreux, en donnant le plus haut degré de précision possible aux observations faites et

à la mesure des déformations; ils démontrèrent l'exactitude des faits avancés par MM. Dupin et Duleau.

De l'étude de ces déformations sensibles et *superficielles*, MM. Navier, Saint-Venant, Bélanger, Clapeyron, Phillips, Bresse, etc., déduisirent un certain nombre de lois, et, par suite, de formules liant entre elles les charges extérieures, les forces et les déformations moléculaires, en un mot, l'admirable théorie de cette partie de la Résistance des matériaux.

D'une manière générale, on établit dans ces calculs analytiques que, pour une section donnée, les forces extérieures agissant sur le solide d'un côté de cette section sont d'autre part équilibrées par les forces moléculaires développées dans la déformation. On admet que ces forces moléculaires se résolvent en deux systèmes : en *tensions longitudinales*, normales à la section considérée, de sens contraire de part et d'autre de la *fibre neutre* et croissant avec leur distance à cette ligne, et en tensions parallèles à la section, ou *efforts tranchants*, tendant à cisailler la pièce transversalement.

Pour la facilité plus grande des calculs et des constructions pratiques, on a même été conduit, par convention, à localiser les deux systèmes de forces intérieures et à charger spécialement certaines parties des pièces de résister aux efforts séparés, les tables des poutres en T, par exemple, de résister aux tensions longitudinales, et les âmes ou parois verticales aux efforts tranchants.

Théoriquement, cette localisation ne doit pas exister, et chaque point d'une section quelconque doit subir plus ou moins l'action simultanée des deux systèmes de forces.

Et si, pour le cas d'un solide en verre chargé d'un poids unique et posé sur deux appuis, nous essayons de traduire d'avance en *langage* ou en *diagramme polarisé* les conceptions de la théorie, nous pouvons prévoir deux apparences différentes :

Si la théorie analyse bien le phénomène, en supposant l'action sur le solide de deux groupes distincts de forces intérieures, vibrant dans des plans rectangulaires, dans ce cas, le solide en verre nous montrera une teinte générale obscure dégradée des semelles vers le milieu; en figurant les tensions longitudinales par des hachures horizontales plus serrées vers les semelles, et les efforts tranchants par des hachures verticales également espacées, nous aurions l'aspect ombré donné par la fig. 31, pl. 136. — Si la théorie fait une décomposition virtuelle en

composantes horizontales et verticales de résultantes uniques réellement appliquées aux divers points du solide, les parties quadrillées de la figure précédente devront donner des résultantes obliques, caractérisées par des teintes générales laiteuses polarisées, irisées même vers les semelles où les tensions sont plus grandes; vers la partie médiane ou la fibre neutre, où ne se rencontrent plus que des forces verticales représentatives des efforts tranchants, on devra avoir une ligne obscure. C'est l'apparence polarisée que M. Nickerson a cru apercevoir dans une lame serrée de part et d'autre par les mâchoires d'un étau.

Nous verrons que l'observation polarisée ne confirme pleinement ni l'une ni l'autre des deux hypothèses précédentes; elle nous montrera deux zones distinctes, l'une occupée exclusivement par des tensions ou vibrations longitudinales, l'autre par des tensions obliques, par suite exclusivement traversée par les efforts tranchants localisés, en venant confirmer et autoriser d'une façon assez imprévue la convention qui partage les tensions longitudinales et les efforts tranchants entre les semelles et l'âme de la poutre. Elle nous révèlera du même coup l'action particulière, l'influence locale exercée par les efforts isolés, charges, appuis, etc., dont la théorie ne tient pas suffisamment compte; celle-ci considère la pièce comme moulée et cambrée entre deux formes ou gabarits convexe et concave, sans se préoccuper si les faisceaux parallèles de forces intérieures ne sont pas infléchis ou perturbés en passant devant ces centres, ces foyers de propagation des actions moléculaires.

L'examen des lames de verre fléchies va nous permettre de ne plus observer les actions seulement à la surface, mais de pénétrer au centre même des corps déformés, pour surprendre dans tout leur ensemble les véritables phénomènes qui se produisent.

Nous passerons en revue les divers cas généraux de la flexion plane :

1° Poutre droite posée sur deux appuis et chargée:

a) D'un poids isolé;

b) De deux poids;

c) De trois poids;

d) D'un poids uniformément réparti.

2° Poutre posée sur trois appuis de niveau, avec charges, isolées ou réparties ;

3° Poutre encastrée à une de ses extrémités ;

4° Poutre encastrée à ses deux extrémités ;

5° Poutre courbe.

1° *Poutre droite posée sur deux appuis.*

A) ***Poids isolé.*** — Si nous suivons les figures obtenues pour diverses longueurs relatives d'une poutre variant de 2 à 30 fois la hauteur, nous observons une similitude d'effets produits, qui ne saurait surprendre, mais qui atteste dès lors la parfaite constance de la transmission des forces extérieures ; nous retrouvons même sans peine ces ondes en S ou en queue-de-triton que nous rencontrions déjà dans les cas de simple compression.

La force appliquée produit toujours au point touché des auréoles elliptiques irisées (fig. 32, 33 et 34), signe d'une tension locale plus grande ; puis elle se divise en deux courants comme deux queues-de-triton ou S opposées, traversant le corps pour aller rejoindre les appuis ; ces deux queues-de-triton laiteuses, passant au jaune, orangé, etc., avec l'accroissement de la pression, sont séparées par une sorte de coin hyperbolique obscure, et buttées aux reins vers la force isolée, par une teinte obscure dégradée.

Cette figure montre bien que les tensions intérieures ne passent pas indifférentes devant les forces extérieures, mais sont très sensiblement influencées par elles.

La figure représente dans l'ensemble une grande accolade ayant son sommet au point d'application de la force et les extrémités de ses branches sur les points d'appui ; entre ces branches laiteuses se développent des tensions horizontales qui maintiennent la solidarité entre les deux ailes. On peut se figurer le système comme formé de deux arbalétriers en S (fig. 32), A A', posés sur les appuis et chargés au faîtage O du poids considéré, maintenus par un entrait ou tirant obscur, B, et étayés aux reins par des contrefiches *aa'*. La courbure générale ODD' affecte encore la forme elliptique, en laissant les angles D D' neutres.

Lorsque la charge augmente, les branches laiteuses passent au jaune orangé dans leur partie centrale; la teinte obscure se fonce et passe même au violet vers les points d'application et vers le milieu M de la semelle inférieure.

Comme dans la simple compression, il y a un gonflement longitudinal marqué par l'arrondissement de la zone laiteuse qui dépasse l'aplomb des points d'appui pour regagner ceux-ci par une contre-courbe élégante *bb'* (fig. 33, pl. 136).

Ces queues-de-triton laiteuses, d'une teinte assez uniforme pour des pressions allant jusqu'à la moitié de la charge de rupture, délimitent la zone spéciale des forces obliques, c'est-à-dire des molécules sollicitées par des forces réelles rendues obliques par l'action dirimante, par l'influence particulière et *localisée* des efforts tranchants; l'importance de cette zone d'efforts obliques semblerait autoriser à première vue comme très rationnelle la disposition du treillis ou des latices pour constituer l'âme des poutres.

En dehors, dans les parties obscures, les molécules sont sollicitées par des forces vibrant parallèlement au plan de polarisation; cette zone correspond principalement aux semelles des poutres.

Au milieu de la zone laiteuse, la ligne neutre, qui ne doit être sollicitée que par des efforts tranchants, verticaux, et devrait en conséquence apparaître obscure, ne se distingue pas; on n'observe rien qui en puisse faire soupçonner nettement la présence; il est peu probable qu'elle se rencontre à la position que la théorie lui assigne généralement, près ou au-dessus du centre de gravité des sections transversales, car sur cette direction se trouve le renflement longitudinal en vertu duquel la fibre neutre serait elle-même allongée; elle doit se recourber probablement plus ou moins en suivant le milieu des deux accolades, dans une position sans doute peu prévue par les indications théoriques en cours.

Comme à l'ordinaire, en tournant le Nicol à 90°, les laiteux deviennent obscurs, et réciproquement.

Entre 0° et 90°, le plan principal de polarisation détache par sa rotation, du milieu de la zone laiteuse, une suite de courbes en S obscures allant du point d'application aux appuis, courbes qui sont les enveloppes successives des points dont les forces vibrent dans le plan principal de polarisation.

Il était intéressant de reconnaître la gradation des images sous diverses tensions avant d'arriver à la rupture.

1° Vers 1/3 de la charge de rupture, l'accolade laiteuse apparaît et se détache de la partie vitreuse (fig. 32, pl. 136), les parties obscures commencent à s'accuser ;

2° Vers la moitié de la charge limite, la figure devient complète, continue, et se détache bien avec les parties obscures et les parties laiteuses (fig. 33, pl. 136) ; les points d'appui s'irisent, les branches de l'accolade s'élargissent et se renflent verticalement ;

3° A partir des $\frac{2}{3}$ de la charge de rupture, l'accolade s'épanouit, s'équarrit presque jusqu'à toucher les bords supérieurs et inférieurs de la poutre (fig. 34), le coin hyperbolique se resserre, les colorations laiteuses et obscures envahissent presque entièrement les parties vitreuses ; les branches d'accolade passent vers leur milieu au jaune, puis à l'orangé, rouge, etc., pendant que les parties obscures virent au violet et au delà, vers les points d'application et vers le milieu de la base inférieure. Cette apparence s'accentue de plus en plus jusqu'au moment où la rupture se déclare, en commençant par la semelle inférieure.

En poursuivant ces observations sur des lames de verre à glace offrant en longueur successivement 3, 5, 10, 15, 25 et 30 fois la hauteur (fig. 35 et 36), on voit toujours l'accolade laiteuse se développer du point d'application aux deux appuis, mince vers le milieu, puis se renflant avant de se recourber pour gagner les appuis. A mesure que la longueur croît, au lieu des remplissages obscurs qui se remarquaient sur les petites longueurs, la surface laissée libre par l'accolade se remplit d'une obscurité plus nette, plus détachée, plus vive à partir des bords de la lame, passant facilement aux couleurs de la série des violets et des bleus, épousant les courbures de l'accolade, qui se détache plus vigoureusement, et arrivant à occuper de chaque côté un tiers de la hauteur vers les semelles, le tiers du milieu étant laissé à l'accolade.

Le Nicol à 90°, ou avec son plan principal parallèle à celui du polariseur, ou tourné à l'extinction, donne les colorations complémentaires ; l'accolade apparaît obscure, et les bords laiteux et irisés. Observant la flexion de cette façon, M. Nickerson a pris l'accolade pour la ligne des fibres neutres, faute d'avoir considéré d'assez près que cette zone se re-

lève par un rebroussement en accent circonflexe au point d'application de la force, puis se renfle vers les extrémités pour dépasser d'abord les points d'appui, qu'elle regagne en présentant de part et d'autre une sorte de pivot gracieux. M. J. Tyndall lui-même, parlant incidemment de ces phénomènes[1], qu'il n'avait pas suivis pas à pas, toujours semblables à eux-mêmes, depuis les solides courts jusqu'aux solides les plus longs, avec les mêmes points singuliers caractéristiques, a confondu également la bande sombre, la bande neutre et les bandes colorées.

Si la force unique était appliquée, non plus au milieu de la pièce, mais plus près de l'un des appuis (fig. 34 *bis*) la figure polarisée présenterait une accolade à branches inégales, la plus courte étant plus vivement colorée que l'autre.

Nous ne pouvons manquer de constater encore l'analogie constante des figures polarisées obtenues dans ce cas et dans celui de la compression : des queues-de-triton droites ou renversées reportant latéralement la pression extérieure aux extrémités les moins soutenues ou en porte à faux, les remplissages obscurs reliant les ailes latérales, le même gonflement longitudinal sur la direction de la fibre moyenne.

Pour relever les ailes et résister à ce gonflement longitudinal, la consolidation des âmes en tôle ou en fonte par une nervure longitudinale médiane, comme dans les poutres à triple T, est parfaitement rationnelle.

Ligne de rupture. — L'examen des cassures permet de vérifier que les lignes de séparation des parties laiteuses ou colorées d'avec les parties obscures et neutres, c'est-à-dire les lignes suivant lesquelles les tensions intérieures changent brusquement d'intensité ou de direction, sont des lignes de moindre résistance, prédisposées au cisaillement ou à la rupture.

Ainsi, les fractures (fig. 34 et 37) se produisent suivant la section moyenne OM, ou suivant l'un des côtés ou les deux côtés du coin obscur, $OmMm'$, quelquefois en détachant le fragment en cœur OM; parfois la rupture commençant en M, se bifurque, court par le plus court chemin aux ailes de l'accolade, les suit pour réunir ses deux branches en O, en détachant entre les deux ailes une pièce symétrique en cœur (fig. 37, pl. 136).

C'est pour cette cause, et suivant ces deux lignes inclinées, que se

1. *La Lumière*, par J. Tyndall, page 146.

déclarait l'onde de voilement partant à 45° de la table supérieure dans les essais à la rupture des premiers ponts tubulaires (fig. 40); nous l'expliquerons mieux en étudiant les figures correspondantes dans les cas de charges uniformément réparties sur la poutre.

Pour soutenir ces points faibles, il faudrait fortifier le milieu des poutres et relier solidement, à travers le coin hyperbolique obscur, les deux ailes divergentes ; on y parviendra, comme nous le déduirons des indications de la polarisation, en renforçant vers le milieu les pièces destinées à résister aux efforts tranchants. Les étais, en empêchant le voilement longitudinal aux lignes séparatives, ont aussi leur utilité parfaitement justifiée par ces observations.

Dans leurs expériences fondamentales, MM. Morin et Tresca ont trouvé qu'en général, pour les poutres en chêne ou en fer, le raccourcissement de la table ou face supérieure, pour une charge donnée, est un peu plus faible que l'allongement de la face opposée, dans la même flexion ; la figure polarisée peut expliquer et motiver ce fait, en montrant que les semelles supérieures ne sont pas intéressées sur toute leur étendue par les forces intérieures en jeu : il reste aux angles supérieurs des espaces AA′ neutres (fig. 37), indifférents aux efforts, ce qui n'arrive pas aux semelles inférieures. A ce titre, le renforcement ou l'élargissement de la semelle inférieure autrefois adopté dans certains types de poutres en T, même en fer, était assez utile.

Efforts tranchants. — Dans le cas d'une force unique produisant la flexion, la théorie attribue à l'effort tranchant une valeur constante et égale à celle de la force même ; l'image polarisée vérifie assez bien ce point, au moins pour les solides courts : avec sa teinte sensiblement uniforme qui permet de mesurer l'intensité de l'effort tranchant dans chaque section à l'étendue de la bande intéressée par cette lumière laiteuse, l'accolade se développe au milieu de ses ondulations en gardant une hauteur verticale peu variable, sauf pour les dégagements amincis vers les points singuliers ; avec les solides longs l'accolade assez étroite vers le milieu va se renflant en s'approchant des appuis ; les tensions longitudinales deviennent alors, vers la force appliquée, tellement prépondérantes sur les efforts verticaux que la résultante se rapproche beaucoup de l'horizontale, et la zone obscure empiète largement sur la zone laiteuse ordinaire.

Fibre neutre. — Nous avons cru retrouver parfois dans la zone

médiane sombre, une éclaircie fugitive, au-dessus du centre de gravité de la section, éclaircie pouvant marquer le passage des compressions longitudinales supérieures aux tensions inférieures, soit la *ligne de moindre déformation*. Mais à droite et à gauche cette trace se perd à la vue dans les ailes laiteuses, et pour déterminer dans la figure polarisée la position possible de cette ligne, on se trouve absolument réduit aux conjectures : du point *a* (fig. 37), il semble impossible qu'elle se dirige horizontalement vers les points du plus grand renflement longitudinal. Il ne serait pas improbable que cette ligne de moindre déformation ne fût la ligne médiane des accolades laiteuses, se développant des points d'appui au point d'application de la choffée ; cette ligne médiane a ses extrémités fixes, de plus elle varie relativement peu de position : quand la charge augmente, les accolades s'élargissent, s'épaississent en quelque sorte, sans que la ligne médiane s'infléchisse beaucoup ; celle-ci doit être, au moins pour la zone laiteuse, une ligne particulière de moindre déformation.

Cette opinion se trouverait un peu confirmée par l'observation d'Hodgkinson qui trouvait, en brisant des poutres par un choc au milieu de leur longueur, que la fibre neutre se trouvait à 1/7 de la hauteur à partir du point touché ; c'est ce que retrace l'inflexion particulière de l'accolade vers ce point touché[1].

Forme d'égale résistance. — Nous ferons remarquer que la forme d'égale résistance, parabolique, triangulaire même, donnée aux balanciers, à certains poitrails, etc., est parfaitement motivée par les observations polarisées : la neutralité des onglets AA′ (fig. 37) montre l'inutilité de la matière qui remplit ces angles supérieurs, les seules parties travaillantes sont les accolades laiteuses, le remplissage obscur des reins (suivant une courbure générale elliptique, tangente à la semelle supérieure au point chargé), et la zone obscure qui borde la semelle inférieure.

B) ***Deux forces isolées.*** — Dans le cas de deux charges isolées égales, appliquées à la poutre posée sur deux appuis, on observe encore des phénomènes de polarisation de même ordre. On voit encore une queue-de-triton s'élancer de chaque force au point

1. C'est ainsi que la traçait notre regretté maître, M. de Dion, qui voulait bien s'intéresser particulièrement à ces études.

d'appui voisin ; d'une force à l'autre se développe un feston de lumière laiteuse assez pâle (fig. 38); tout l'espace restant est rempli comme précédemment d'une teinte sombre, augmentant d'intensité aux abords des œils-de-paon ou aux points de plus grande tension locale.

Les choses se passent donc comme dans le cas précédent d'une force unique, l'ensemble ayant été coupé en deux et écarté de la distance qui sépare les deux forces, et les deux parties étant raccordées ou reliées par la frange dont nous venons de parler.

Si l'une des forces est plus grande, la queue-de-triton correspondante est plus large et plus colorée, et la frange intermédiaire s'accentue du côté de cette force.

La théorie donne pour l'effort tranchant entre chacune des forces égales et le point d'appui voisin une valeur constante et égale à chaque charge appliquée ; entre les deux forces, l'effort tranchant serait nul. En pratique, l'effort tranchant entre les deux charges n'est pas nul, et il sera toujours prudent en construction de donner à la poutre la même section résistante entre les deux forces qu'au delà.

C) ***Cas de trois forces isolées.*** — Quand le solide posé sur deux appuis, supporte trois charges isolées, on observe encore, allant des forces extrêmes aux appuis, deux queues-de-triton laiteuses, et entre les trois forces, de la charge intermédiaire aux deux autres, deux festons, formant, du milieu aux appuis, des franges étagées (fig. 39) ; le reste de la zone est obscur à la manière ordinaire.

La théorie indique bien, en effet, cet accroissement successif des efforts tranchants par l'addition des forces rencontrées, en allant du milieu vers les appuis ; toutefois dans chaque section, l'effort tranchant ne reste pas absolument constant comme le suppose la théorie.

A mesure que le nombre des forces égales et équidistantes augmente, on voit, de part et d'autre du milieu de la poutre, ces festons laiteux développés d'une force à la suivante, s'étager pour arriver aux deux surfaces laiteuses continues, presque triangulaires, données à la limite par la charge uniformément répartie que nous allons examiner.

D) ***Charge également répartie.*** — Si la charge répartie ne dépasse pas l'aplomb des points d'appui, on a une accolade laiteuse tronquée par le plan de la face supérieure, avec un renflement débordant la surface intéressée (fig. 40) ; entre le milieu et chacune des extré-

mités, se développe une onde ou queue-de-triton laiteuse allant se terminer en pointe à l'appui.

Si la charge répartie dépassait l'aplomb des appuis, on aurait latéralement une inflexion avec œil-de-paon vers l'angle en porte-à-faux (fig. 40 *bis*); la figure serait encore dérivée, comme nous en avons vu précédemment de nombreux exemples, de la figure type complètement développée, mais tronquée latéralement.

Entre les ailes, la figure est remplie par la teinte sombre, plus intense vers les pointes et au milieu de la base inférieure.

Quand la pression répartie augmente, le coin obscur se rétrécit, les ventres se renflent et descendent plus près de la base inférieure, comme on le remarquait dans le cas de la poutre supportant un effort isolé d'intensité croissante. Nous retrouvons là, d'ailleurs, une figure que nous avons rencontrée à propos du poinçonnage.

L'aspect général de ces figures polarisées vérifie dans une certaine mesure les conclusions théoriques qui font croître dans ce cas l'effort tranchant en progression géométrique depuis le milieu de la poutre, où il est nul, jusqu'aux appuis, où il est maximum, et le font figurer graphiquement par les ordonnées d'une droite partant obliquement du milieu de la longueur de la poutre; dans l'observation polarisée, la lumière laiteuse, d'une teinte sensiblement uniforme, laisse heureusement mesurer l'intensité de l'effort tranchant par l'étendue de la zone qu'elle intéresse transversalement : du milieu vers les appuis, l'effort va bien en croissant, mais point suivant une droite oblique ou un triangle; il croît d'abord beaucoup plus rapidement, surtout lorsque la charge répartie augmente, et qu'on se rapproche de la rupture; il arrive alors, à peu de distance du milieu, à atteindre rapidement les 2/3 de la valeur maxima aux culées; il faut évidemment tenir grand compte de cette circonstance, car les trépidations causées par les charges en mouvement, provoquent des oscillations et des accélérations verticales qui peuvent rapprocher beaucoup du cas de la rupture les conditions prévues pour des charges en repos.

Quand on donne aux lames verticales la mission de résister particulièrement aux efforts tranchants, sur l'épure qui règle la distribution des épaisseurs des tôles, on ne suit pas servilement le tracé qui donnerait au milieu une épaisseur presque nulle, on attribue à l'âme dans la partie médiane une certaine valeur; en raison des considérations que nous avons exposées, il serait prudent de ne pas laisser cette détermi-

nation au hasard, et de s'astreindre à donner au minimum une épaisseur égale aux 2/3 de l'épaisseur aux appuis; bien que les dimensions des pièces soient déterminées pour travailler à 1/6 de l'effort de rupture, les charges en mouvement arrivant presque à doubler la flèche des charges en repos, on peut admettre que l'effort tranchant se trouve doublé dans les mêmes circonstances, et arrive à 1/3 de l'effort de rupture ; c'est à cette limite que la figure polarisée apparaît : l'enseignement qu'elle nous fournit, ne doit pas être perdu.

Les lignes de rupture se rencontrent encore dans la section médiane, ou obliquement suivant les lignes séparatives des ailes laiteuses d'avec la zone obscure, aux déviations brusques des tensions longitudinales (fig. 40 et 40 *bis*); c'est là que se manifestaient ces ondes de voilement dirigées à 45° à partir de la semelle supérieure dans certaines poutres tubulaires essayées à la rupture.

En renforçant, comme nous le proposons, l'âme dans sa partie médiane, on combattra cette tendance au cisaillement ou au voilement, et on s'opposera aux déchirements qui pourraient se produire.

Les étais verticaux, en reliant sur toute la hauteur les parties tirées horizontalement vers les semelles avec les parties médianes (de l'accolade) soumises aux efforts obliques, en donnant de la roideur à la poutre dans le sens vertical, exercent une influence de même nature.

2° *Poutre posée sur trois appuis.*

Si chaque travée est chargée d'une *force isolée*, les appuis et les forces agissent de part et d'autre de la poutre en détachant des uns aux autres les mêmes bandes laiteuses en queue-de-triton (fig. 41), enveloppées de teinte obscure plus ou moins foncée dans le voisinage des points d'application.

Quand les efforts extérieurs augmentent, les bandes laiteuses s'élargissent et se renflent horizontalement et verticalement, et passent même à la teinte jaune orangée dans leur partie centrale.

Nous ferons la même observation que précédemment pour la valeur constante attribuée par la théorie à l'effort tranchant dans chaque travée; cette donnée n'est pas absolument confirmée par la figure polarisée.

Si dans chaque travée la *charge est uniformément répartie* (fig. 42), les appuis agissent comme des efforts isolés, avec l'œil-de-paon et les

pointes obscures, et envoient plus ou moins obliquement les ailes laiteuses se réunir vers la semelle supérieure; comme dans le cas du poinçonnage, la lumière laiteuse ne borde toujours pas la semelle supérieure, elle en est séparée par une étroite bande obscure, qui passe ensuite entre les ailes avant de s'épanouir vers la semelle inférieure.

Chaque aile, dans son aspect général, vérifie fort approximativement les indications de la théorie, en ce qui concerne l'accroissement de valeur de l'effort tranchant à mesure qu'on se rapproche des culées; elle la corrige seulement en montrant que cet effort croît d'abord beaucoup plus rapidement que ne l'indique l'analyse.

Les ailes laiteuses ne sont pas symétriques non plus par rapport au milieu des travées : celles qui joignent l'appui intermédiaire sont plus longues que les ailes latérales; le point de jonction pour lequel l'effort tranchant est nul et les tensions longitudinales maxima, a été trouvé dans nos expériences pour des charges égales dans les deux travées, aux $\frac{45}{125}$ de la longueur à partir des culées, ce qui vérifie très sensiblement l'indication de la théorie pour l'abscisse du point affecté de l'effort tranchant θ nul et du moment fléchissant μ maximum, abscisse égale à 3/8 ou $\frac{45}{120}$, pour l'une des travées, et 5/8 pour l'autre.

Les cassures se produisent, au droit des appuis, suivant les lignes de séparations obliques des ailes laiteuses et de la pointe obscure, ou sur le milieu des travées suivant la ligne de plus grande obscurité, quelquefois avec déviation le long de la partie laiteuse (fig. 42, pl. 136).

L'analyse interprète l'encastrement, dans ses calculs, en assimilant cette action à celle d'un couple, qui maintient le solide orienté suivant une direction fixe, et d'une force verticale représentant la réaction de l'appui. L'observation polarisée vérifie cette assimilation.

3° *Poutre encastrée à une extrémité et chargée à l'autre.*

Si le solide, encastré à une extrémité, est chargé à l'autre, il offre, comme certains faits antérieurs pouvaient le faire prévoir, une accolade

irrégulière joignant les œils-de-paon des points intéressés par les pressions : dans l'encastrement, du bord extérieur supérieur au bord inférieur de la mâchoire, se développe une queue-de-triton, courte, presque droite, très vivement colorée en orangé, rouge, etc., complètement noyée dans l'obscurité et même dans le violet intense, marquant la réaction de l'appui inférieur ; la seconde branche part, avec une bissectrice oblique, du point inférieur d'encastrement pour gagner le point d'application, d'abord effilée, puis se renflant vers l'extrémité ; entre les branches de l'accolade, et vers les revers de la grande branche, on a le remplissage obscur habituel, plus intense vers la bissectrice ; l'onglet inférieur reste seul neutre (fig. 43, pl. 136).

Si le solide s'allonge, on retrouve toujours la même disposition, avec cette modification observée déjà que la longue branche s'effile de plus en plus (fig. 44), en accentuant sa couleur d'une façon plus tranchée, se distinguant surtout des bandes supérieure et inférieure qui se colorent plus fortement en violet ou parviennent même à s'iriser.

Les cassures se produisent suivant la ligne séparative de l'aile irisée et de la partie obscure dans l'encastrement, ou suivant la bissectrice des deux ailes dans la zone obscure (fig. 43, pl. 136).

4° *Poutre encastrée à ses deux extrémités.*

Pour une poutre encastrée à ses deux extrémités, et chargée d'un *poids isolé*, on a de part et d'autre de cette force la figure précédente : l'accolade laiteuse (fig. 45) part en deux branches qui vont s'appuyer sur le bord inférieur antérieur des appuis, pour se prolonger au travers des encastrements par une queue-de-triton courte et vivement colorée ; les parties en dehors des accolades sont très sombres, teintées fortement de violet vers les points les plus comprimés.

Dans ces cas d'encastrement, toutes les parties du solide sont à peu près colorées, on n'aperçoit plus de parties neutres ou indifférentes ; on peut expliquer par là, pour une même poutre, l'excédant de résistance dû à l'encastrement : toutes les fibres travaillent et l'utilisation de tous les éléments de résistance de la pièce est plus grande. On peut observer un résultat comparable, quand le solide posé des deux appuis chargé d'une force isolée (fig. 46), est butté dans le sens de l'axe par deux forces longitudinales et opposées : les queues-de-triton sont bifurquées en face de ces nouvelles pressions, les extrémités de la pièce,

neutres d'ordinaire, se remplissent de teintes obscures ou violettes plus ou moins vives, et cette sorte de demi-encastrement peut exercer une influence favorable sur la résistance générale de la pièce : si cette buttée s'exerce dans la moitié inférieure de la poutre, elle tend à la cambrer vers le haut, comme on le fait souvent d'avance pour les poutres en double T.

Dans le cas de l'encastrement ordinaire, si la charge isolée était plus rapprochée d'un appui, la branche correspondante plus courte s'épaissirait et se teinterait d'une coloration plus vive que sa conjuguée.

Si dans ces conditions d'encastrement la *charge est répartie*, on a dans l'encastrement la queue-de-triton colorée, droite et courte, caractéristique, puis, de chaque point d'appui s'élance une aile laiteuse peu infléchie (fig. 47), bordant à peu de distance la semelle supérieure, avec des ordonnées décroissantes de l'appui au milieu; les deux ailes ne se fondent pas au milieu, elles restent séparées par un trait obscur reliant la frange obscure supérieure à l'accolade obscure inférieure, assez intense; ces ailes vérifient, sous les réserves dites, la loi de décroissance des efforts tranchants des culées au milieu.

Dans ce cas de double encastrement, toutes les parties du solide apparaissent plus complètement intéressées, plus uniformément remplies par des teintes polarisées plus vives, ce qui explique l'influence particulière de l'encastrement sur la plus grande résistance de la pièce. Les cassures se déclarent au milieu, suivant la ligne sombre, qu'elles quittent souvent pour courir, parfois assez loin, à droite et à gauche, suivant les lignes horizontales de séparation des tons obscurs supérieurs et des tons laiteux (fig. 47, pl. 136).

Deux travées avec encastrement. — Quand le solide est encastré à ses extrémités, avec appui intermédiaire, et supporte dans chaque travée un effort isolé, on obtient aux extrémités (fig. 48) les images spéciales à l'encastrement, puis les queues-de-triton s'élançant des appuis aux charges, avec les séparations obscures connues.

Si dans les mêmes conditions, chaque travée supporte des charges égales et uniformément réparties (fig. 49), on a toujours les mêmes figures aux encastrements, puis, dans chaque travée, deux zones laiteuses plus ou moins triangulaires, l'une très longue venant de l'appui intermédiaire, l'autre très courte et très épatée, venant de l'encastrement; elles ne se

soudent pas non plus entre elles, et les espaces laissés libres par ces zones sont remplis par des tons obscurs très tranchés, surtout aux lignes séparatives des zones laiteuses entre elles. Nous avons trouvé dans nos expériences pour l'abscisse des points où l'effort tranchant est nul, une longueur très sensiblement égale aux $\frac{18}{120}$ de la travée à partir des culées, comme le calcule la théorie.

5° *Poutres courbes.*

Nous avons examiné quelques éléments de poutres courbes substituées aux poutres droites pour pressentir les phénomènes qui se produisent dans les arcs métalliques et les voûtes en maçonnerie.

En remplaçant, sous l'effort d'une charge isolée, la poutre prismatique posée sur deux appuis par un segment circulaire (fig. 50), on observe encore deux queues-de-triton laiteuses qui longent les reins de la pièce, et sont comme tronquées, par la suppression faite des courbes en S que nous avons toujours rencontrées; la teinte laiteuse s'accentue plus vivement le long de la partie diminuée, pour indiquer par des tensions plus grandes le surcroît d'effort laissé là par la partie défaillante; pour tout le reste, dans la partie intacte, on a les détails connus.

Avec un profil moins bombé à la partie supérieure, parabolique ou d'égale résistance, les queues-de-triton seraient moins entamées, les parties neutres disparaîtraient seules, et l'on aurait une solidité égale avec une grande économie de matière.

Un arc s'appuyant à mi-joint sur deux appuis ou culées et chargé au sommet présente entre les trois forces extérieures (fig. 51) deux queues-de-triton laiteuses à courbure extérieure convexe, épousant les reins de l'arc et figurant les deux branches d'une pince; l'espace intermédiaire est rempli d'une teinte obscure, renforcée vers les points d'application; on remarque des onglets neutres dans la partie des joints en porte à faux. Vers la culée, l'extrémité de la queue-de-triton va toujours rencontrer l'arête la plus chargée; si le joint porte bien également sur la naissance, la courbe laiteuse se bifurque pour aller toucher les deux arêtes; avec un joint compressible, on obtient une teinte uniforme, caractéristique d'une pression bien répartie.

L'intrados est bordé d'une teinte obscure assez uniforme, qui semble

indiquer, par la direction horizontale des vibrations, que les molécules résistent en s'opposant au glissement horizontal d'une file à l'autre.

Si l'on considère un arc plein cintre, chargé à la clef, et posé sur deux appuis, l'un vers l'intrados, l'autre vers l'extrados, on observe encore deux courbes en navette, partant de la clef, rasant les reins à l'intrados et posant leur pointe inférieure vers l'arête appuyée; des tons obscurs, foncés, remplissent l'intervalle vers la clef à l'intrados et extérieurement vers l'extrados jusqu'aux reins.

Si nous chargeons l'extrados de l'arc plein cintre de deux et trois forces isolées, agissant normalement à l'intrados, nous obtenons les franges festonnées et les queues-de-triton de même figure et de même distribution que pour la poutre droite (fig. 53-54) dans les mêmes circonstances, comme si les figures correspondantes précédemment obtenues avaient été cambrées sur un gabarit demi-circulaire, résultat important au point de vue de la généralité et de la constance des réactions moléculaires constatées.

Ces trois dernières figures reflètent exactement les circonstances connues de la déformation des arcs et des voûtes, suivant que les surcharges portent sur la clef ou sur les reins. Dans le premier cas, on trouve, par les tons obscurs à la clef, pression à l'extrados, extension à l'intrados; la teinte laiteuse tangente aux reins à l'intrados marque là une pression oblique (par rapport aux plans verticaux), tandis que l'obscurité à l'extrados marque une tendance au bâillement des joints. Si la charge est sur les reins, on voit la tension à l'intrados des reins, tandis que la frange des pressions obliques envoyée d'une force à l'autre touche l'intrados de la clef, en laissant la teinte sombre marquer la tension à l'extrados de cette clef.

Si la charge porte enfin simultanément sur les reins et sur la clef, on voit, sur la figure, des pressions à l'extrados et des tendances aux bâillements à l'intrados de tous les joints correspondants.

Pour la plus légère différence de calage, comme aussi pour la moindre irrégularité de compression d'un garnissage en mortier (soit par la présence de grains de sable plus grossiers, ou par une prise plus rapide sur un point que sur un autre), les queues-de-triton promènent leurs extrémités d'une arête à l'autre, en provoquant le bâillement de l'arête opposée, ou la production d'un joint de rupture; pour les assujettir à passer dans les joints en un point assez distant des arêtes, l'idée

des noyaux ou des clefs était heureuse, car, du même coup, on empêchait les ventres de se rapprocher trop de l'intrados ou de l'extrados; on aurait pu parvenir au même résultat en donnant aux joints un bombement très prudemment ménagé, pour obtenir en même temps une pression mieux répartie et moins vive vers les arêtes; pour obtenir cette égalité de répartition des pressions, des garnissages un peu compressibles, comme des plaques de plomb, donneraient des résultats meilleurs que les garnissages en mortier qui, au moment du décintrement, ne sont plus élastiques, s'ils sont à prise rapide, ou tout au moins ont fait déjà prise sur les arêtes en porte à faux, s'ils sont à prise plus lente.

Vérifications. —Cette analyse vient coordonner et expliquer des phénomènes concordants de rupture, obtenus par Vicat et Hodgkinson, en opérant sur des matières aussi diverses que le fer, la fonte, le plâtre; car ces cassures en cœur caractéristiques et assez peu explicables avec le concours des seules données de la théorie ordinaire ne se rencontrent pas dans le verre pour la première fois.

Hodgkinson les signale dans son Rapport d'enquête, déjà cité, sur l'emploi des métaux dans la construction des chemins de fer; il détachait ces coins en cœur (fig. 36), en brisant, sous une charge unique, des barres de fonte; dans les mêmes circonstances, sur des poutres tubulaires en fer, il obtenait des rides de voilement partant des culées, signe sensible de ces déformations obliques.

Dans le même Rapport, on remarque encore des cassures obtenues par M. Gooch sur de grandes poutres en fonte (fig. 36 *bis*), cassures dans lesquelles il n'est pas difficile de reconnaître le contour caractéristique des coins de rupture en cœur.

Dans le Mémoire précédemment cité de Vicat, de quelques années antérieur, on trouve aussi relatées des expériences absolument concordantes (fig. 37 *bis*); avec des meules circulaires en plâtre, posées sur des supports annulaires et chargées à leur centre jusqu'à rupture, Vicat détachait, par une sorte de poinçonnage, un tronçon conique dont la section méridienne présentait le profil en cœur, comme on l'obtient dans le cas de la poutre droite chargée en son milieu et posant sur deux appuis.

M. Tresca a constaté de son côté ces cassures en cœur ou en accolade dans la rupture par flexion de rails en acier; on peut les observer

journellement dans les cassures à la tranche ou aux essais par flexion des barreaux ou lingots de fonte, de fer et d'acier.

Conséquences pratiques. — L'observation des véritables réactions intérieures développées dans les solides fléchis par des charges extérieures, doit conduire à une analyse supplémentaire des conditions de résistance.

En l'état actuel, on se préoccupe :

1° Des moments résistants ;

2° Des efforts tranchants;

3° De la résistance au glissement longitudinal.

1° Les premiers, calculés par rapport au centre de gravité de la section, donnent, pour la partie tendue, la plus compromise, des valeurs supérieures à celles qui suffisent strictement, si l'axe neutre passe plus haut. Toutefois la vivacité des colorations violettes qui apparaissent vers la base inférieure au droit des sections affectées des moments fléchissants maxima, fait pressentir qu'il peut y avoir là un accroissement peut-être plus rapide que celui de l'ordonnée parabolique, tout comme on remarque des inflexions brusques vers les points d'appui, par exemple, pour les efforts tranchants. Il semblerait prudent, vers les points des moments fléchissants maxima, de calculer les résistances plus largement que ne l'indique la théorie.

2° Les efforts tranchants, évidemment caractérisés par le développement des zones laiteuses, sont parfois insuffisamment équilibrés par les données de la théorie, surtout dans les régions où celle-ci les considère comme nuls; nous avons montré qu'il serait plus prudent de ne pas les considérer comme descendant au-dessous des 2/3 de leur valeur maxima dans chaque travée.

3° Quant à la troisième sorte de déformation, le glissement longitudinal, on peut l'envisager comme une conception théorique beaucoup plus que pratique, et l'on gagnerait en sécurité à substituer à cette analyse d'autres considérations plus positives, comme celle d'un cisaillement, non point suivant une ligne neutre idéale dont l'existence ne frappe pas, du moins dans l'analyse polarisée, mais d'un cisaillement suivant les lignes séparatives des parties sollicitées horizontalement et des parties sollicitées obliquement.

Dans nos expériences, les solides étaient représentés par des règles rectangulaires en verre, dont l'épaisseur constante était environ le 1/4 de la hauteur ; dans les figures polarisées, les parties laiteuses occupent toujours au moins la moitié de la surface latérale de la travée, les molécules sollicitées obliquement occupent donc un cube au moins égal à celui des molécules livrées aux efforts horizontaux. Dans les poutres laminées en T, de proportions courantes, les semelles ont en largeur la moitié de la hauteur de la poutre, en épaisseur 1/7 à 1/8, l'épaisseur de l'âme est environ 1/10 de la hauteur ; le cube des semelles spécialement et heureusement disposé pour résister aux tensions longitudinales, en laissant l'âme verticale libre pour résister aux efforts tranchants, dans une répartition naturelle comme inspirée par les faits que nous avons esquissés, le cube des semelles représente les 2/3 du cube total ; la part laissée aux efforts tranchants est trop restreinte et les surfaces transversales séparatives suivant lesquelles peut se produire le cisaillement dans le changement brusque de direction des efforts intérieurs, est beaucoup plus faible que dans nos solides prismatiques en verre.

Or, dans nos observations, les nombreuses cassures que nous avons provoquées, et c'est là le *criterium* suprême, se sont partagées à peu près également, entre les ruptures suivant la section droite des moments résistants et les ruptures obliques suivant les lignes séparatives.

Avec des solides en verre amincis au milieu de la hauteur, comme des poutres en I, amincis en outre au milieu de leur longueur comme le sont les poutres composées, les cassures suivant les lignes obliques eussent été prépondérantes, sinon exclusivement obtenues.

Les lignes séparatives ont une importance trop peu connue : elles forment les *arêtes de voilement* d'abord, puis de *rupture* ou de *déchirement*. Leur influence doit devenir énorme pour les grandes longueurs, si l'on en juge par la netteté de ces lignes confinant deux zones voisines, de coloration très tranchée.

A ce point de vue, on se représente difficilement comment les poutres en treillis, avec leur âme verticale découpée, affaiblie, discontinue, peuvent pourvoir à la transmission de ces ondes régulières, constantes, on pourrait dire rationnelles, tant leur existence est naturelle ; il doit résulter, de la constitution morcelée des treillis, des déviations que le calcul en l'état ne soupçonne pas, dont les méthodes

actuelles ne tiennent pas compte ; on trouverait là certainement l'explication véritable de mécomptes singuliers éprouvés à l'emploi de poutres semblables, qui, satisfaisant consciencieusement à toutes les exigences et prescriptions des règlements et de l'analyse en cours, n'ont pu se tenir debout sous leur propre poids, par suite du voilement, du manque de rigidité des parois verticales.

Jusqu'à ce que la théorie sache exactement formuler les conditions supplémentaires de la résistance à toutes les actions intérieures, il faut parer à leur influence en renforçant les épaisseurs aux sections les plus chargées, répartir largement au loin, par des goussets, les actions extérieures directes, comme les réactions des appuis, entretoiser longitudinalement les ailes en queue-de-triton séparées par les espaces obscurs, comme aux encastrements ou aux moments maxima, relier dans la hauteur des poutres les zones des forces obliques à celles des forces horizontales, en donnant beaucoup de roideur au plan vertical par l'accumulation de nervures et d'étais verticaux et par un solide contreventement des poutres parallèles entre elles.

IV. — TORSION.

Les figures caractéristiques de la torsion sont extrêmement difficiles à isoler des images connexes, provoquées par le serrage ou la compression des prismes sous l'effort des clefs ou des étaux qu'on doit faire agir sur eux, ou encore par la flexion du solide entre les sections qui subissent l'action des clefs ou des tourne-à-gauche. Les divers spectres résultant de ces phénomènes complexes se superposent, et il devient fort délicat de démêler dans les observations ce qui est caractéristique de la torsion seule.

Si l'on tord entre les doigts un prisme en verre, on aperçoit au Nicol, suivant l'axe longitudinal, la section complètement remplie de lumière laiteuse ; pour aller plus loin et obtenir des images plus tranchées, il faut employer des clefs ; ces clefs viendront spécialement butter, en coinçant, des arêtes opposées ; de ces arêtes plus comprimées surgissent des œils-de-paon irisés (fig. 60-61), elliptiques, se propageant les uns au-devant des autres, entourés de lumière laiteuse ou jaune orangée ; deux courbes obscures ou violettes circonscrivent, comme une parenthèse, ce remplissage; au dehors apparaissent des teintes décroissantes ou une faible lumière laiteuse.

L'ensemble affecte une forme cambrée tournant sa convexité du côté opposé aux clefs. Si, d'une part, la section transversale apparaît comme particulièrement chargée suivant les arêtes en contact avec les clefs, d'autre part, la torsion semble se faire, dans ce cas de serrage en porte à faux, non pas autour de l'axe de figure, mais autour d'un axe extérieur situé entre les branches des clefs. Ce cas se présente pour un arbre sollicité par deux manivelles calées à 90 degrés, par exemple.

Si l'on essaie d'obtenir une torsion plus symétrique par rapport à l'axe de figure en faisant agir des couples par des colliers à vis ou des tourne-à-gauche centrés, on obtient alors d'un point de contact à son opposé une ligne sombre contournée en S, comme dans tous les cas où les forces isolées ne sont pas diamétralement opposées (fig. 62) ; ces lignes obscures sont entourées, comme à l'ordinaire, d'amorces d'el-

lipses laiteuses qui enveloppent l'entrecroisement des S sombres formant une croix diagonale. Cette figure symétrique accuse plutôt encore la pression des instruments de serrage en huit points symétriques, et les rayons courbés en sens contraire ne viennent pas caractériser la rotation inverse des deux sections entraînées. La cassure nous donnerait des indications plus précieuses : si les sections serrées sont un peu distantes l'une de l'autre, les onglets des angles, mal soutenus, tangentiellement au cercle inscrit, se détachent facilement pour dégager (fig. 63) deux cônes opposés par le sommet, à génératrices formées par des courbes concaves. Si nous essayions d'interpréter ce résultat, nous dirions que l'effort de torsion se transmet, de part et d'autre, suivant deux noyaux coniques opposés, ayant pour base chacune des sections serrées, gagnant l'axe en un point commun, et se séparant par cisaillement circulaire des onglets angulaires et de leur emboîtement intermédiaire, comme désintéressés de cette déformation ou de ces transmissions.

CONCLUSIONS.

En passant en revue les déformations observées sur des solides en verre, nous avons, sans transition, généralisé les conséquences que pouvaient suggérer ces expériences en étendant leurs enseignements aux cas ordinaires des constructions pratiques.

On a pu trouver une telle généralisation bien prompte, et on a pu objecter à ces inductions que ce qui pouvait être vrai pour le verre, pouvait ne plus l'être pour le fer, l'acier, la pierre, etc., ce qui compromettrait les conséquences pratiques d'études ainsi faites.

Nous avons à justifier d'un même coup, pour toutes les observations précédentes, l'extension que nous avons proposée, en l'appuyant sur des faits qui semblent complètement l'autoriser.

Nous avons déjà signalé, au cours de cette étude, la similitude remarquable qui se rencontre dans les figures obtenues par compression dans le verre, d'une part, et de l'autre dans les prismes en pierre et les meules en plâtre de Vicat, dans les cylindres et les poutres en fonte et en fer d'Hodgkinson, dans les tubes lamellaires en plomb de M. Tresca; une pareille coïncidence dans des conditions aussi diverses ne saurait être fortuite, et offre une première preuve de la généralité des lois qui président aux transmissions intérieures, au cheminement des forces extérieures au travers des corps de constitution différente.

Nous en avons cherché d'autres démonstrations aussi directes que possible.

On ne peut suivre, comme pour le verre, le développement des ondes transmises dans les corps opaques, mais on peut, au moins, les surprendre à leur entrée et à leur sortie de cette zone invisible, et tirer de cette observation des présomptions sérieuses sur leur trajectoire intérieure.

Si nous appliquons une force isolée sur une face de plaques bien dressées, de verre, de fer, d'acier, de laiton, de plomb, etc., posées à joint précis sur une autre plaque de verre, révélatrice des pressions réparties sur le joint (fig. 55, 56, 57, 58, 59), nous connaîtrons le point

d'accession de la force sur la plaque expérimentée, les points de diffusion à la sortie ; nous pourrons, en conséquence, par une sorte d'interpolation, reconstruire les trajectoires intérieures, reconnaître les figures assez singulières que le verre nous a révélées, et apprécier s'il est exact d'assimiler, pour les diverses déformations étudiées, les corps que nous venons de désigner et qui représentent les constitutions moléculaires fort dissemblables, grenue, cristalline, fibreuse, lamellaire, etc.

Une lame de verre A (fig. 55), pressée par une vis au point O, et posée exactement sur une autre lame de verre B, nous offre une double queue-de-triton distribuant la pression originelle sur le joint commun $\alpha\beta$; cette pression se trouve comme réfléchie ou répercutée par la plaque-étalon B, qui offre, en conséquence, une figure déterminée entre $\alpha\beta$ et son autre base d'appui $\gamma\delta$.

Si nous remplaçons la plaque de verre A par d'autres plaques de fer (fig. 57), d'acier (fig. 56), de laiton (fig. 58), de plomb (fig. 59), sous la pression de la même vis et pour la même position de la plaque-étalon B sur son patin C, nous obtenons, sur cette plaque B, comme contre-partie des actions supérieures, une série de figures semblables, plus ou moins élargies seulement, suivant la nature des corps qui constituent les plaques en expériences. Peut-on contester que ce ne soit le signe d'une diffusion de même ordre, de même allure au travers de tous ces corps ? Un seul élément varie, c'est l'étendue, l'empattement de la base intéressée $\alpha\beta$, évidemment d'après un coefficient caractéristique de la cohésion ou de l'élasticité du corps. En serrant aussi également qu'on peut le faire avec un même étau et une même vis, nous avons obtenu, pour le rapport de la base intéressée $\alpha\beta$, à la hauteur ou à l'épaisseur de la plaque :

Verre.	2 fois 1/2
Fer.	5 — 1/2
Laiton	4 — 1/2
Acier.	7
Plomb	1

L'ardoise nous a donné sensiblement le même résultat que le plomb.

Les efforts intérieurs se propagent plus ou moins loin, suivant une loi à déterminer, en fonctions du coefficient d'élasticité, ou peut-être de la valeur R de la charge de rupture, que les rapports ci-dessus semblent suivre de plus près ; mais cette détermination exige des me-

sures extrêmement délicates, l'emploi d'appareils spéciaux que nous n'avons pas encore eus à notre disposition.

Rappelons encore les coïncidences remarquables entre les indications générales de la théorie, confirmées par la pratique des constructions, et les observations faites sur nos règles de verre, pour la position des efforts tranchants minima et des moments fléchissants maxima, notamment dans les cas de deux travées uniformément chargées, avec ou sans encastrement.

Ces faits semblent militer suffisamment en faveur de la généralisation que nous avons proposée, et des renseignements précieux que nous avons prétendu transporter dans le domaine de la pratique.

La Mécanique, ou tout au moins la Résistance des matériaux, s'attarde peut-être dans des spéculations analytiques appuyées sur un trop petit nombre de faits, anciennement observés ; à l'exemple des autres sciences, ses émules, il est temps d'en assurer et d'en élargir les bases, en les consolidant par l'appoint d'éléments nouveaux.

La polarisation nous offre un moyen précieux d'entrer plus avant dans cette observation intime de phénomènes jusqu'ici peu connus ; la nouvelle méthode expérimentale que nous recommandons, recèle les ressources les plus précieuses, que nous serions heureux d'avoir fait entrevoir.

ÉTUDE

SUR

LE PROPULSEUR

POUR L'AVIATION

PAR M. **ARSON.**

Chacun se rappelle l'état des esprits des habitants de Paris pendant le siège de 1870 et l'ardeur avec laquelle ont été soulevées toutes les questions qui avaient trait à la défense nationale. Dans ce temps de fièvre, beaucoup de solutions remarquables ont pris naissance et ont laissé des traces ineffaçables. La correspondance de Paris avec le reste de la France, malgré la ceinture de l'ennemi, a particulièrement fait l'objet de l'attention publique et on a vu se réaliser dans une large mesure, deux modes de transmission aussi remarquables qu'inattendus : la correspondance par l'intermédiaire des pigeons et des ballons.

Malheureusement la solution n'était pas complète, elle ne satisfaisait qu'à l'une des deux conditions essentielles d'une correspondance : les dépêches partaient bien de Paris, mais Paris ne recevait pas de réponse.

C'est en face de cette situation que la question, d'ailleurs, si anciennement posée, de la direction des ballons, fut étudiée avec plus d'intérêt que jamais. La réalisation d'un va-et-vient de la correspondance entre Paris et la province eût été une solution heureuse, accueillie avec joie, alors même qu'elle n'eût apporté à Paris que des nouvelles d'un intérêt secondaire, à plus forte raison si elle eût permis une entente entre les commandements des armées françaises.

La solution a été cherchée, elle a été promise même, mais le temps a manqué sans doute à sa réalisation. C'est que les études de cette na-

ture demandent plus que de l'ardeur; elles exigent des essais; des observations; et si long qu'ait été le siège de Paris, la solution n'est pas arrivée en temps utile.

La Compagnie parisienne du gaz devait suivre la question et ses ingénieurs devaient en être justement préoccupés. Des projets furent faits par eux; soit sur la machine à employer; soit de la chaudière qu'il était possible de mettre dans la nacelle d'un aérostat; soit enfin du propulseur auquel il fallait avoir recours.

M. de Gayffier, alors directeur de la Cie, accueillit ces travaux avec bienveillance; les encouragea en autorisant des essais partiels; mais le temps ne permit pas de les achever.

Je n'entretiendrai pas la société de toutes les études qui ont été faites sur les diverses parties, d'ailleurs, si nombreuses de la question.

Il me suffira de dire qu'on avait fait choix de la machine à vapeur à deux cylindres, système de Woolf, qu'on remplacerait avantageusement aujourd'hui par la machine Compound, parce que celle-ci permettrait l'emploi des manivelles placées à angle droit l'une sur l'autre, fournissant au mouvement de rotation une uniformité difficile à réaliser sans l'aide du volant qu'il faut aussi proscrire.

Je ne parlerai pas non plus des essais qui ont été faits pour la production d'un générateur léger, chauffé par des combustibles liquides, marchant sans le tirage d'une cheminée, qu'il est impossible d'employer dans le cas particulier qui nous occupe.

J'indiquerai seulement l'emploi que nous voulions faire d'un condenseur par surface, formé par l'enveloppe d'un propulseur. Ce n'est pas que je veuille entrer, même pour ce détail, dans l'étude des organes propres à la construction de l'aérostat, mais c'est parce que je serai conduit à faire connaître le rôle précieux que l'enveloppe peut exercer sur le fonctionnement du propulseur se mouvant dans l'air, rôle considéré au point de vue de l'effet utile du travail moteur, et qu'il est dès lors utile de justifier par toutes les raisons possibles.

J'indiquerai aussi comment on pourrait remplacer l'action de la machine à vapeur, par celle de la machine à gaz, dont la consommation est maintenant assez réduite pour qu'il soit possible d'y avoir recours.

J'ai cru pouvoir me permettre la communication de cette étude, relative à la théorie mécanique du propulseur, parce qu'elle n'est publiée nulle part, que je sache du moins, et qu'il est certainement intéressant

de la provoquer; cette tâche appartient assurément à la société des ingénieurs civils.

J'appellerai particulièrement votre attention sur ce point, que l'expression théorique de l'effet utile, exprimée en fonction de l'obliquité des palettes, n'est pas la même pour l'aviation et pour la navigation; et que l'expérience confirme ces déductions.

La raison ne tient pas, d'ailleurs, à la différence de densité des milieux où se meuvent les appareils propres à ces deux applications, comme on est tenté de le croire tout d'abord; mais bien à ce que les appareils qui agissent dans l'air tournent avec une grande vitesse et n'ont qu'une marche lente; tandis que ceux qui tournent dans l'eau n'ont qu'une vitesse de rotation faible par rapport à leur vitesse d'avancement. Cette distinction entre les deux applications et les conditions logiques qui en résultent pour la construction des appareils, motiveraient à elles seules la communication que je vais faire.

Si je tire ces déductions avant même d'avoir exposé les considérations théoriques qui les justifient, c'est que je les ai confirmées par des expériences qui les rendent indiscutables. Je décrirai ces expériences et les conditions dans lesquelles elles ont été faites, me mettant d'ailleurs à la disposition de chacun de vous, pour les renouveler devant lui si elles devaient particulièrement l'intéresser.

L'Étude expérimentale de la résistance que les corps solides rencontrent quand ils se meuvent dans l'air, ne peut être faite par un seul procédé applicable à toutes les vitesses.

La résistance qu'un grand corps de forme complexe, se mouvant lentement, fait apparaître, ne peut être observée par les moyens qui sont nécessaires pour constater la résistance que l'air oppose au mouvement rapide d'un élément plan.

Aussi ai-je dû faire emploi de deux moyens différents. Pour l'étude des résistances que rencontrent des corps de formes complexes, que j'ai limités d'ailleurs au plan, à la sphère et au fuseau; j'ai observé les faits qui sont dus à la chute de ces corps d'une hauteur de dix mètres, avec des vitesses variables ne dépassant pas deux mètres par seconde.

On relevait les vitesses produites par certains poids moteurs connus à l'avance, lorsque ces vitesses avaient acquis une valeur constante et que la résistance de l'air était devenue égale au poids moteur.

Ces corps, de section circulaire, avaient quarante-six centimètres de diamètre dans leur plus grande largeur, et le fuseau avait un mètre

quinze centimètres de longueur. Je ne produirai pas les résultats que j'ai constatés parce que la valeur de la résistance par unité de section des corps qui se meuvent dans un milieu varie, paraît-il, avec l'étendue absolue que ces corps occupent et que je ne voudrais pas qu'on fût tenté d'en faire application. Je dois à l'extrême bienveillance de M. Dupuy de Lôme, la connaissance de ce fait et je crois devoir maintenir ouverte la recherche si intéressante des coefficients de cette nature qui ne peuvent être observés que dans le déplacement des corps eux-mêmes. Pour la marine, ces chiffres ont été déterminés par les Ingénieurs, et en particulier par M. Dupuy de Lôme lui-même, dans des expériences où les corps mis en mouvement étaient des navires de tous les types et où les moyens employés, pour faire ces constatations, avaient toute la perfection que le corps savant de la marine sait produire.

Mais si ces réserves sont fondées quand il s'agit de faire application de chiffres déterminés avec des corps de petites dimensions, à des corps de très grande étendue; elles ne le sont plus quand il est seulement question de faire cette application à des corps de dimensions voisines. Aussi croyons-nous que les résultats de nos observations sur des propulseurs types, sont applicables à des appareils de dimensions peu différentes. Nous proposons donc avec confiance les chiffres déterminés dans nos expériences sur les propulseurs aériens, comme applicables aux appareils de cette nature.

Théorie du Propulseur.

La difficulté principale qu'on rencontre dans l'établissement d'une théorie quelconque et plus particulièrement de celle qui convient à un phénomène aussi compliqué que celui du choc d'un corps solide contre un milieu fluide, est assurément bien plus dans l'appréciation exacte du fait et dans l'appréciation de ses vrais caractères, que dans la manipulation de formules convenables. Aussi avons-nous apporté à l'étude de la question qui nous occupe et à l'analyse qu'il fallait en faire, toute l'attention possible.

Est-ce que la palette d'un appareil rotatif qui se meut avec une grande vitesse, dans un milieu fluide, agit de proche en proche, modifiant successivement le mouvement de ce fluide comme le fait l'aube

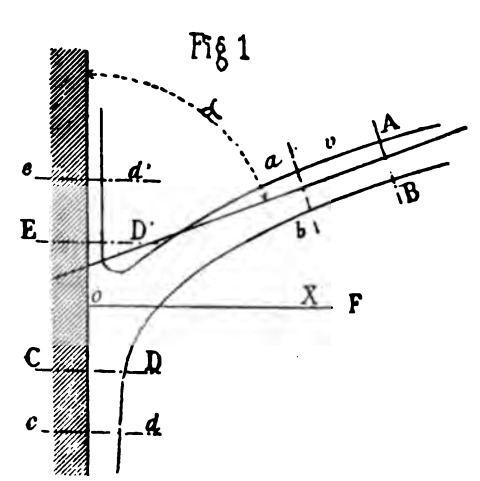
d'un récepteur hydraulique, d'une turbine par exemple? Ou bien, la rencontre brusque du plan avec ce fluide ne donne-t-elle pas lieu à un choc? La réponse ne fait pas doute.

En effet, l'aube d'un propulseur ne fend pas le liquide, elle le rencontre sous un angle assez ouvert avec une grande vitesse, elle le frappe. En outre cet angle reste constant pendant toute la durée du contact et par conséquent le plan cesse d'agir sur le liquide dès qu'il lui a imprimé la direction parallèle à sa surface.

Le temps que dure l'action utile de l'aube est inappréciable et il est impossible de concevoir une force agissant sur une molécule pendant qu'elle parcourt un chemin défini, condition qui constituerait un travail proprement dit et qui donnerait lieu à un phénomène appréciable par les formules qui s'y rapportent.

Aussi lorsque M. Bélanger étudie le cas particulier de la rencontre d'une veine liquide avec un plan, a-t-il soin de faire emploi des formules qui se rapportent à l'accroissement de la quantité de mouvement; suivons donc l'exemple d'un maître aussi habile dans l'analyse des phénomènes hydrauliques.

Il a écrit la théorie particulière que nous cherchons et à cela près qu'il envisage le choc du liquide en mouvement contre un solide en repos, tandis que nous considérons le choc d'un solide en mouvement contre un liquide en repos; nous trouvons l'analyse du phénomène toute faite et nous n'avons qu'à en faire l'application.



Par cette étude Bélanger établit la formule, qu'on emploie si souvent d'ailleurs, sans rappeler comment on peut l'établir, et que voici :

$$F = \pi A \frac{v^2}{g} \sin \alpha$$

dans laquelle :

π Est le poids du mètre cube du fluide considéré ;

A La section droite de la veine liquide prise au point le plus voisin où elle coule en filets parallèles;
v La vitesse correspondante;
α L'angle d'incidence;

et il fait remarquer :

« Que la pression F *normale au plan*, est égale au poids du cylindre « qui aurait pour base la section droite de la veine et pour longueur « d'arête le double de la hauteur $\frac{v^2}{2g}$ due à la vitesse, les arêtes faisant « avec la base du cylindre l'angle α que la direction du courant, prise « au lieu où la vitesse est v, fait avec le plan qu'il rencontre plus « loin. »

Pour passer de cette expression relative à un élément plan qui se meut parallèlement à lui-même, à celle qui convient à une surface quelconque tournant autour d'un axe, il suffit de décomposer celle-ci en petits éléments concentriques; d'admettre que chacun d'eux se meut comme le ferait une surface plane de même étendue, présentant la même inclinaison par rapport à la direction du mouvement; puis de faire la somme des actions de tous ces éléments.

Faisons cette opération sans faire aucune hypothèse sur la nature de la surface pour conserver à l'expression toute la généralité possible.

Théorie.

L'expression générale de la pression exercée sur un plan qui se meut en ligne droite, ramenée à celle d'un élément qui tourne autour d'un axe, devient :

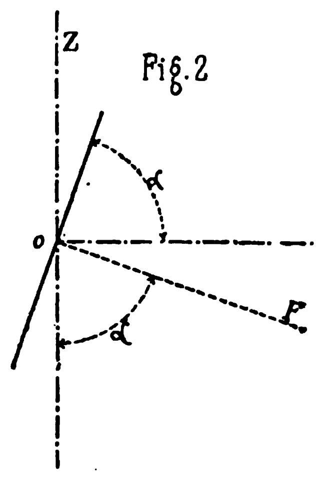
En appelant dr la largeur de cet élément mesurée dans le sens du rayon;

ω la vitesse angulaire du mouvement de rotation;

L la longueur de l'élément, projetée sur l'axe et Ldr la valeur de A dans l'expression générale qui précède :

$$dF = \Pi \times Ldr \times \frac{\omega^2 r}{g} \sin \alpha.$$

Puis enfin la projection de cette force élémentaire sur la direction oz au mouvement de la transaction, sera :



$$dF \cos\alpha = \Pi\, L dr \frac{\omega^2 r^2}{g} \sin\alpha \cos\alpha.$$

Mais la valeur maximum de cette expression correspond au maximum de la valeur de $\sin\alpha \cos\alpha$, c'est-à-dire à $\alpha = 45°$ pour laquelle $\sin\alpha \cos\alpha = \frac{1}{2}$ et dans ce cas elle se réduit à :

$$dF \cos\alpha = \Pi\, L \frac{\omega^2}{2g} r^2 dr,$$

dont la somme entre les valeurs extrêmes de R_1 et R_0 de r, est :

$$\sum dF \cos\alpha = \Pi\, L \frac{\omega^2}{g2} \left(\frac{R_1^3 - R_0^3}{3}\right).$$

Travail Moteur.

Reprenons l'expression de la valeur élémentaire de la pression normale au plan, pour un élément $L dr$ situé à la distance v.

$$dF = \Pi\, L \frac{\omega^2}{2g} r^2 \sin\alpha\, dr.$$

Multiplions la projection de cette force sur le chemin parcouru par la longueur de ce chemin ωr ; nous aurons la valeur cherchée du travail

$$dF\, \omega r \sin\alpha = \Pi\, L \frac{\omega^3}{2g} r^3\, dr \sin^2\alpha,$$

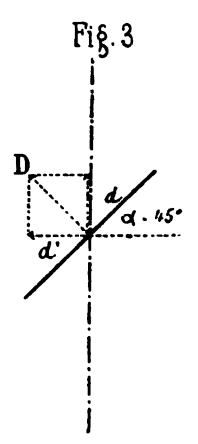
dont l'intégrade entre les valeurs extrêmes $R_1\, R_0$, et pour une valeur constante de $\alpha = 45°$, donne :

$$\sum dF\, \omega r \sin\alpha = 0{,}50\, \Pi\, L \frac{\omega^3}{2g} \left(\frac{R4_1 - R4_0}{4}\right).$$

Tout ce qui vient d'être dit est relatif à l'action de la face antérieure de l'ailette sur le fluide qu'elle rencontre, et ne tient pas compte des phénomènes qui se produisent sur la face postérieure. La palette, en se déplaçant, fait le vide derrière elle, vide que le milieu tend à remplir.

Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaît que cette action est comparable à celle que nous venons d'étudier, surtout si le plan est incliné à 45°. Toutefois, les signes sont contraires, et il y a une limite, d'ailleurs éloignée, à laquelle le vide formé derrière la palette imposerait un terme à l'effet utile.

Si l'on pousse l'étude des phénomènes qui s'accomplissent derrière la palette aussi loin que le raisonnement le permet, on est conduit à reconnaître que l'effet produit doit être égal à celui qui a lieu sur la face antérieure. En effet :



Considérons le plan dans cette inclinaison, celle de 45°, il supporte une pression qui est moindre que la pression ambiante.

Appelons D la différence qui peut être représentée par une force normale au plan et de signe contraire au mouvement de rotation. Décomposons cette force en deux autres dirigées; savoir : l'une d' dans le sens opposé au mouvement de rotation; l'autre d parallèle à l'axe de cette rotation. La première sera la raison d'un travail moteur; l'autre sera une force utile à la translation. Recherchons ce qui arrivera pour ces deux forces quand l'angle α variera.

Lorsque l'angle α grandit au delà de 45° la composante d' s'accroît, et la composante utile d diminue, ce qui est défavorable.

Lorsque l'angle α diminue, la force B diminue aussi, la composante d décroît, il est vrai, moins vite que la force d', mais toutes deux décroissent à ce point qu'elles deviennent nulles pour $\alpha = 0$. En outre, il convient de faire remarquer que dans toutes les positions intermédiaires la valeur absolue de la force d diminue plus vite que la surface AB n'augmente, ce qui fait que leur produit diminue. En effet, le volume laissé derrière la palette dans le mouvement de rotation est constant et indépendant de l'inclinaison; le volume de fluide appelé pour le remplir reste donc le même; ce volume est le produit de la section par la vitesse; la section ne croît que comme la longueur AB, et la vitesse diminue en sens inverse. Mais la vitesse est liée à la différence de pression par la relation :

$$\frac{v^2}{2g} = d$$

et par conséquent la valeur de d décroîtra plus vite que la vitesse. Pour

une longueur d'aube AB double, par exemple, *d* ne sera plus que le quart.

Appareil expérimental.

Les considérations théoriques que nous venons de développer nous ont amené à conclure que le plan incliné à 45° constituait la forme de palette fournissant le maximum d'effet utile dans le cas d'un propulseur tournant en place avec une grande vitesse. L'expérience confirme nos déductions.

L'appareil qui permet de le constater fonctionne dans des conditions si indépendantes de la volonté de l'opérateur et exprime les résultats cherchés avec une telle précision, que je crois devoir le faire connaître avec quelques détails, persuadé qu'il pourra aussi être utilisé dans d'autres circonstances.

Un axe horizontale porte l'appareil à essayer ; un ressort en spiral lui communique le mouvement de rotation que la résistance de l'air, agissant sur l'appareil essayé, limite seule.

La communication de mouvement entre l'axe conduit et l'axe du ressort moteur, a lieu par un toc d'entraînement placé à une grande distance du centre et n'établissant aucune liaison qui puisse empêcher l'axe des appareils de se déplacer en glissant dans ses coussinets.

Un compteur, marquant les cinquièmes de secondes, permet de relever le temps pendant lequel l'appareil en expérience exécute un nombre connu de révolutions.

Enfin un fléau de balance permet de constater la pression qu'il est nécessaire d'exercer sur l'axe pour l'empêcher de se déplacer sous l'influence de l'action que les palettes exercent sur l'air ambiant.

Avec cet appareil on peut établir une exacte comparaison entre deux propulseurs, alors même qu'ils ne marcheraient pas avec les mêmes vitesses et qu'ils produiraient sur leurs axes des pressions différentes. En effet :

Si deux appareils exécutent le même nombre de révolutions dans le même temps, l'effet utile de l'un d'eux est à l'effet utile de l'autre, comme la pression exercée par l'axe du premier est à celle qu'exerce le second.

Si deux appareils exécutant toujours le même nombre de révolutions, mais dans des temps différents, exercent la même poussée sui-

vant l'axe, leur effet utile est évidemment proportionnel au temps pendant lequel le même travail moteur les a conduits.

Donc, pour deux appareils qui se déroulent pendant des temps différents et qui exercent des pressions différentes, l'effet utile de l'un est à l'effet utile de l'autre, comme le produit du temps par la pression du premier est au produit du temps par la pression du second.

Pour comparer deux appareils quelconques, quelles que soient leur forme et leur dimension, il suffit de les monter successivement sur l'appareil ; de les laisser dérouler librement ; d'observer le temps qu'ils mettent à exécuter un même nombre de révolutions ; de déterminer le poids qui tient l'axe en équilibre, et de faire le produit du temps par le poids.

Si l'on détermine une fois pour toutes le travail moteur fourni à l'axe par le ressort, on peut même rapporter cet effet utile au travail moteur qui l'a produit.

La constance avec laquelle cet appareil a fonctionné et la précision des indications qu'il nous a fournies, nous engagent à le recommander à l'attention des membres de la Société.

Nous avons fait avec cet appareil les observations suivantes :

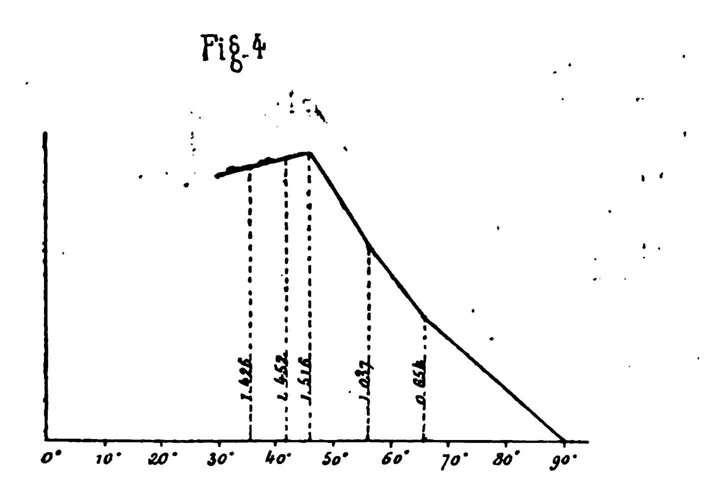
1° Des plaques minces en tôle, diversement inclinées et présentant des surfaces telles que la projection sur un plan perpendiculaire au mouvement, soit constante, ont été employées pour faire apparaître l'influence de l'inclinaison. Le tableau suivant et la courbe construite avec les pressions suivant l'axe, prises pour ordonnées, font apparaître l'influence qui appartient à chaque inclinaison.

L'angle de 45° a fourni le maximum.

ANGLES d'incidence.	TEMPS pour 265 révolutions.	POUSSÉE suivant l'axe.	PRODUIT DU TEMPS par la poussée.
degrés.	secondes.	grammes.	
90	76.2	0.00	0.000
67	65.6	10.00	0.654
55	57.6	18.00	1.037
45	57.6	26.60	1.516
41	48.4	30.00	1.452
35	46.0	31.60	1.426

Cette première étude toute spéciale à la recherche de l'inclinaison la plus favorable a été suivie d'une application à des types de propulseurs,

Fig. 4



c'est-à-dire à des appareils plus compliqués dans la forme et dans le mouvement; sur lesquels il importait de rechercher si la conclusion théorique que nous venons d'exposer avait encore sa confirmation.

Ces appareils étaient au nombre de trois, affectant des formes bien caractérisées, savoir ;

1° Un propulseur héliçoïde, dont la surface était engendrée par une droite se mouvant parallèlement à elle-même en s'appuyant sur l'axe de rotation et sur une hélice inclinée à 45°, mais située aux deux tiers du rayon de l'appareil.

2° Un propulseur formé d'un plan incliné à 45° à toute distance du centre et ayant d'ailleurs la même longueur de projection sur l'axe et le même rayon extérieur.

3° Un propulseur plan semblable au précédent, mais précédé et suivi de plusieurs éléments plans superposés.

Ce dernier type avait exactement les mêmes dimensions que le précédent, et ne devait agir que sur la même quantité d'air, mais le fractionnement des surfaces assurait une action meilleure par l'élimination de l'air rencontré qui ne s'interposait plus entre le plan et l'air choqué.

Ces trois modèles ont fourni les résultats consignés au tableau suivant.

Valeurs relatives des Appareils.

APPAREILS.	TEMPS.	PRESSION.	EFFET UTILE.
	secondes.	grammes.	
Hélice....................	57.0	46.7	2600
Plan......................	57.6	51.0	2937
Plan divisé...............	61.0	39.0	2472

Il importe de remarquer que les frottements de l'axe dans ses tourillons, absorbe une fraction du travail moteur et que cette perte est plus grande pour l'appareil le plus lourd.

Les poids de ces modèles sont :

Hélice. . . . . 692 grammes.
Plan. . . . . 461 —
Plan divisé. . . . . 1296 —

Il nous a paru intéressant de rechercher si cette perte avait une grande influence. A cet effet, nous avons augmenté le poids de chaque appareil de manière à égaliser ces quantités afin de pouvoir attribuer à la résistance de l'air, seule, les faits observés.

Nous avons trouvé que l'influence due au frottement n'avait pas une valeur manifestement appréciable.

Effet utile.

On peut déterminer l'effet utile obtenu dans ces expériences, par les appareils types essayés, et en tirer un enseignement qui guiderait au besoin dans les premières applications. Nous verrons même plus loin que cette recherche permet de comparer entre elles plusieurs solutions qui se classent ainsi par ordre de valeurs relatives aussi exactement que si on connaissait parfaitement leurs valeurs absolues.

En donnant aux expressions introduites sous une forme générale dans les opérations précédentes, les valeurs suivantes, qui correspondent au plan divisé :

Au rayon extérieur. . . . . $R_1 = 0^m,230$
Au rayon intérieur. . . . . $R_0 = 0^m,050$
A la largeur des anses suivant l'axe. . . . . $L = 0^m,067$
A la vitesse angulaire. . . . . $\omega = 27^m,282$

la formule établie page 10 et appliquée à deux ailettes, devient :

$$2 \times \Pi L \frac{\omega^2}{2g}\left(\frac{R_1^3 - R_0^3}{3}\right) = 0{,}1235,$$

l'observation a fourni 0,039

le rendement est donc de : 33 %.

Propulseur interne.

La faiblesse de ce rendement semblait révéler une infériorité dans les appareils soumis aux expériences. Cependant les modèles essayés reproduisaient fidèlement les types qu'on s'était proposé d'expérimenter, l'imperfection devait donc tenir aux principes mêmes de leur constitution si elle existait.

L'air est un fluide de si faible densité que le choc produit sur lui ne peut faire naître qu'une réaction faible très atténuée par l'élasticité. La compression dans un espace fermé pouvait offrir un moyen plus efficace de développer sa résistance et semblait devoir fournir des résultats plus favorables à la transmission mécanique qui doit totalement passer par son intermédiaire.

Ces considérations m'ont conduit à faire l'étude d'un propulseur tournant dans une enveloppe, et si l'expérience n'a pas fourni des résultats meilleurs, elle a, du moins, étendu le nombre et la forme des types qui peuvent fournir la solution cherchée.

L'appareil construit pour essai se compose de deux parties distinctes ; la première est le propulseur rotatif proprement dit ; la seconde est son enveloppe.

L'air appelé par le fonctionnement de l'appareil pénètre dans l'enveloppe par son orifice antérieur et sort à l'arrière par son orifice postérieur. Un abaissement de pression dans l'orifice d'avant est la raison du premier mouvement ; une élévation de pression sur l'orifice d'arrière est celle du second. La somme de ces deux différences de pression avec la pression atmosphérique est la raison de l'effet utile de l'appareil.

La description de l'appareil mobile et son mode d'action sur l'air qui

passe dans la partie fixe n'est pas nécessaire, comme on le voit, pour définir le principe en vertu duquel il va agir. Sans doute, la construction de l'organe mobile et sa vitesse de rotation resteront la raison déterminante du déplacement de l'air et par conséquent de l'effet utile; mais dans toutes les solutions possibles, l'appareil restera composé de deux parties distinctes qui joueront chacune un rôle essentiel à l'effet utile. Aussi étudierons-nous séparément chacune d'elles, pour faire ressortir les conditions fondamentales auxquelles elles doivent toutes deux satisfaire.

Étude de l'enveloppe.

Rien de plus simple et de plus élémentaire que la détermination des phénomènes qui se produiront sur les deux faces d'entrée et de sortie de l'enveloppe. (Pl. 1.)

Appelons V la vitesse de translation de l'appareil; u_0 la vitesse relative de pénétration dans l'appareil; la vitesse absolue du fluide sera seulement $u_0 - V$; et la contraction, si elle a lieu, sera due à cette différence de vitesse seulement. En effet si l'appareil ne se déplaçait pas, la vitesse V serait nulle et la contraction serait due à u_0; de même si le fluide n'était pas appelé dans l'appareil par une différence de pression et si l'appareil marchait cependant avec la vitesse V, la différence $u_0 - V$ serait nulle puisque u_0 serait égal à V et la contraction serait nulle aussi.

Le coefficient de contraction qui convient à cette pénétration du fluide pourrait sans doute être 0,50 comme Borda l'a établi pour un orifice rentrant, nous laissons à l'expérience le soin de le déterminer et nous admettrons provisoirement :

$$Q = 0,50 \times s \times u.$$

Abaissement de la pression à l'entrée.

Puisque le fluide pénètre dans l'enveloppe avec une vitesse relative u_0, plus grande que la vitesse de translation, il est évident que la différence $u_0 - V$ est due à la différence des pressions, donc :

$$u_0 - V = \sqrt{2g\left(H - h_0\right)},$$

en représentant par H et h_0 les hauteurs dues aux pressions dans les deux sections, du fluide qui s'écoule.

D'où :

$$H - h_0 = \frac{(u_0 - V)^2}{2g},$$

$$\text{et enfin : } \Pi s \left(H - h_0 \right) = \pi \Pi \frac{(u_0 - V)^2}{2g}.$$

Après avoir franchi la section contractée où la pression est h_0, le fluide parviendra dans un point où il remplira toute la section de l'appareil et il coulera sous la pression h avec une vitesse v que Bernouilly a reliées avec les quantités précédentes par la relation :

$$\frac{u_0^2}{2g} + h_0 = \frac{u^2}{2g} + h.$$

Si on voulait opérer sur ces dernières quantités et les faire apparaître immédiatement dans le calcul il suffirait d'évaser l'appareil à son orifice d'introduction, mais alors on accroîtrait l'orifice d'admission et la quantité d'air appelé, sans accroître l'effet utile, ce qui serait une faute. Ne nous étonnons pas de voir apparaître le phénomène de la contraction avec un rôle utile, dans une application où il est nécessaire de produire la plus grande perte de charge possible tout en dépensant le moins de fluide.

Augmentation de pression à la sortie.

La sortie du fluide à l'arrière est un phénomène plus simple encore que le précédent, puisque la contraction n'y joue aucun rôle. Si on désigne la vitesse relative de sortie par u', la hauteur correspondante par h', et qu'on tienne compte encore ici avec la même raison que précédemment de la vitesse de translation V, on pourra écrire :

$$u' - V = \sqrt{2g\,(h' - u)},$$

et la pression correspondante agissant aussi dans le sens de la marche

$$\Pi s' \,(h' - u) = \Pi s' \frac{(u' - V)^2}{2g}.$$

La somme de ces deux expressions fournit la valeur de la force de translation F :

$$F = \Pi s \frac{(u_0 - V)^2}{2g} + \Pi s' \frac{(u' - V)^2}{2g}.$$

Etude de l'appareil rotatif.

Cet appareil contenu dans l'enveloppe doit, par sa rotation, produire l'abaissement de pression à l'avant qui engendrera la vitesse d'introduction u; et à l'arrière l'élévation de pression qui produira l'expulsion sous la vitesse u'.

Faisons remarquer que les sections des orifices d'entrée et de sortie, et en général toutes les sections de passage dans l'appareil, doivent être en rapport exact avec les vitesses que la théorie admet ou détermine.

Considérons une molécule d'air pénétrant dans l'appareil rotatif à la distance du centre r et rencontrée par une autre, formée d'un plan incliné à 45° et animé d'une vitesse ur. Appliquant ici les raisonnements que nous avons tenus précédemment (page 7), nous écrirons que le choc a fait naître une pression dont la composante parallèle à l'axe de rotation est :

$$\frac{\Pi L \omega^2}{g} r^2 \sin \alpha \cos \alpha \, dr,$$

et rappelant encore, comme nous l'avons fait déjà, que l'angle α qui correspond au maximum d'effet utile est celui qui permet d'écrire :

$$\sin \alpha \times \cos \alpha = 1/2,$$

nous ramènerons l'expression à la forme simple :

$$\frac{\Pi L \omega^2}{2g} r^2 dr,$$

dont l'intégrale relative à chaque palette, multipliée par le nombre n de palettes ayant toutes les rayons extrêmes R_1 et R_0 fournit la valeur de la composante utile cherchée :

$$\frac{n \Pi L \omega^2}{2g} \left(\frac{R_1^3 - R_0^3}{3} \right).$$

Remarque. — Cela suppose que l'air arrivant entre chaque aube sera soumis au choc qui doit lui imprimer l'accroissement de mouvement qui correspond à l'accroissement de pression existant à l'arrière de l'appareil. Or, ce choc ne pourrait avoir lieu par des éléments postérieurs de l'aube qui n'auraient pas une action directe sur les molé-

cules non encore actionnées; il nous paraît donc convenable de limiter l'épaisseur de l'appareil, quantité que nous avons désignée par L, à une grandeur égale à l'écartement des deux aubes. Mais alors la valeur n L est égale à la circonférence entière $2\pi R_1$ et l'expression précédente peut être écrite avec une indéterminée de moins :

$$\frac{2\pi R_1 \Pi \omega^2}{2g} \times \frac{R_1^3 - R_0^3}{3}.$$

Travail Moteur.

L'expression du travail moteur s'obtient aussi des formules déjà établies (page 7.)

Chaque ailette exigera un travail moteur exprimé par :

$$0{,}50\,\Pi L \frac{\omega^3}{2g} \frac{(R_1^4 - R_0^4)}{4},$$

et cette expression multipliée par le nombre n des ailettes donnera la valeur totale du travail que doit transmettre l'appareil rotatif. On peut aussi introduire dans cette expression la valeur $L n = 2\pi R_1$ et écrire pour expression de la valeur totale :

$$3{,}14\ R_1 \times \frac{\Pi\omega^3}{2g} \times \frac{R_1^4 - R_0^4}{4}.$$

Application.

Un appareil d'essai, réalisant les conditions introduites dans les expressions théoriques a été construit et expérimenté sur l'appareil d'essai. Malgré l'imperfection manifeste de ses formes, il a fait naître sur son axe de rotation, une pression de $0^k{,}0377$ tout en ne recevant qu'une vitesse de rotation de 265 tours en 69 secondes, toujours sous l'influence du travail moteur dépensé dans toutes nos observations.

L'effet utile exprimé par le produit du temps par la pression est donc égale à celui de l'hélice avec l'emploi des dispositions que nous venons de décrire. Si on songe que l'entourage des aubes par une enveloppe qui met l'appareil rotatif à l'abri de tout accident est une précaution

nécessaire dans toutes les dispositions possibles, on reconnaît combien il sera facile de réaliser les conditions théoriques que nous venons d'indiquer.

Valeurs des appareils types essayés.

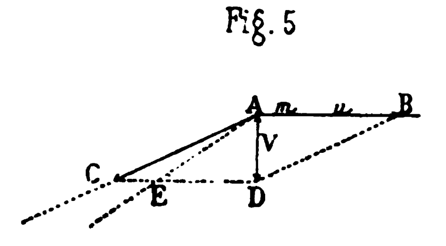
APPAREILS.	TEMPS pour 265 révolutions.	PRESSIONS suivant l'axe.	PRODUIT du temps par la pression.
	secondes.	grammes.	
Hélice.....................	57.0	46.70	2600
Plan........................	57.6	51.00	2937
Plans superposés............	61.0	39.00	2472
Propulseur interne..........	69.0	37.70	2601

Propulseur pour la Navigation.

Les conditions dans lesquelles fonctionne le propulseur de la marine diffèrent essentiellement de celles qui sont propres au propulseur de l'aviation. Celui de la marine tourne plus lentement et prend cependant une vitesse de translation plus grande. Ces conditions correspondent à un autre cas extrême de la question et il est bien évident que les conditions intermédiaires trouveraient leur solution entre les deux.

Étudions la rencontre de chacun des éléments de l'aube avec le liquide et commençons par les points les plus éloignés du centre. Pour ramener cette étude à celle d'un corps qui tourne en place, appliquons à tout le système, solide et liquide, une vitesse V égale et contraire à celle de la marche.

Soit *m* une molécule liquide considérée au moment où elle va pénétrer dans le cylindre géométrique où se meut l'appareil et où elle va être rencontrée par le premier élément d'une aube.



Construisons le parallélogramme des vitesses, établissant la rotation de la molécule avec l'appareil avant le choc. On sait que la vitesse ab-

solue V peut être considérée comme la résultante de la vitesse d'entraînement AB et de la vitesse relative AC ; par conséquent la molécule aura une vitesse AC par rapport à l'appareil et sans que celui-ci en ait modifié le mouvement. Si donc, l'aube avait l'inclination AC elle n'exercerait aucune action sur le liquide.

Admettons que cette inclinaison soit représentée par la droite AE, elle agira en obligeant la molécule *m* à prendre une vitesse plus grande que V = AD, lui permettant de s'échapper pendant un temps plus court que celui qui est nécessaire en vertu de la vitesse V. Ces deux temps sont évidemment entre eux comme les deux longueurs DC et DE.

Si j'en crois les observations très incomplètes d'ailleurs, que j'ai pu faire sur la marche de propulseurs considérés avec raison comme très satisfaisants, la différence entre les quantités DC et DE, serait une fraction très faible de la valeur absolue de ces quantités. On l'exprime ordinairement par une appellation qui a le mérite d'être très expressive, le recul, mais qui a le défaut de faire naître dans l'esprit une idée fausse du phénomène. Le recul semble indiquer une chose fâcheuse qu'il importe d'éviter et qu'il n'est pas indispensable de produire; cependant il n'est pas possible d'agir par pression sur un liquide sans le déplacer.

Si la masse du liquide qu'on met en œuvre est petite, ce qui est la conséquence d'un petit diamètre pour l'hélice, il faudra que le déplacement soit grand; et par conséquent il serait inexact de comparer entre eux deux appareils différents en ne tenant compte que du recul produit par chacun d'eux.

Considérant ce qui se passe dans les points intermédiaires on reconnaît que tous les phénomènes se reproduisent avec des intensités décroissantes et sont nulles au centre. Si on se proposait d'écrire la théorie complète du propulseur héliçoïde, on exprimerait facilement la somme de ces actions qui décroissent d'intensité suivant une loi simple depuis la circonférence jusqu'au centre.

Nous ne nous proposons pas d'écrire la théorie complète du propulseur héliçoïde, c'est un travail qui exigerait qu'on pût rapprocher des observations, où tout serait connu, des formules théoriques, pour les confirmer et pour en tirer des coefficients d'effet utile.

Application.

La formule générale applicable au propulseur enveloppé et donnant l'expression du travail moteur, est :

$$T_m = 3,14 \times R_1 \times \frac{\Pi \omega^3}{2g} \times \frac{R_1^4 - R_o^4}{4}.$$

Si on néglige d'abord la valeur du rayon du moyen R_o qui ne joue qu'un très petit rôle dans l'expression parce que c'est une fraction élevée à la quatrième puissance, la formule se simplifie et devient, avec l'introduction d'un coefficient K destiné à corriger la différence qui doit exister entre le travail moteur et le travail utile :

$$K\,T_m = \frac{3,14}{4} + \frac{\Pi}{2g} + \omega^3 R_1^5.$$

Si on possédait d'autres résultats d'une expression, expression semblable appliquée à d'autres conditions :

$$K\,T'_m = \frac{3,14}{4} \times \frac{\Pi}{2g} \times \omega'^3 R'^5$$

à l'aide du rapport :

$$\frac{T_m}{T'_m} = \frac{\omega^3 R_1^5}{\omega'^3 R'^5}.$$

Sans avoir besoin de déterminer la valeur du coefficient K, mais à la condition de connaître celle de T_m on pourrait déduire de R_1 des valeurs convenant bien à des applications comparables à celles que nous avons faites. Nous avons déterminé cette valeur de T_m par une observation précise et d'ailleurs facile, de sorte que nous croyons pouvoir offrir à l'application une première base solide de calcul.

Pour déterminer le travail moteur transmis par le ressort au dernier arbre qui commande le mouvement de l'appareil dans toutes les expériences, nous avons monté sur cet arbre un tambour ayant un diamètre de $0^m,186$ sur lequel était enroulé un ruban léger portant un poids variable et qu'il fallait régler. Ce poids réduit à 97 grammes retenait l'axe en repos, mais la plus légère impulsion donnée, le mouvement de rotation ne s'arrêtait plus.

On peut donc évaluer le travail moteur transmis par cet axe à la vitesse de 265 tours en 69 secondes à la valeur suivante :

$$\text{par tour} = 0^k,097 \times 3,14 \times 0^m,186 = 0^{km/m},05665,$$

$$\text{par } 1'' = T_m = \frac{265 \times 0,05665}{69} = 0^{km/m}21756.$$

Problème. — Si on suppose deux appareils disposant d'une force totale motrice de cinq chevaux, soit $187^{kmm},50$ pour chaque appareil ; et leur imprimant une vitesse de rotation double de celle qui a été réalisée dans les essais, telle que $\omega' = 2\,\omega = 46^m,58$ on pourra écrire :

$$\frac{T_m}{T'_m} = \frac{0,21756}{187,50} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \times \left(\frac{0,2}{x}\right).$$

d'où on tirera la valeur de x, rayon extérieur de l'appareil duquel se déduisent, sans recherche, toutes les autres dimensions.

D'abord $$x^5 = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \times (0,2)^5 \times \frac{187.50}{0,21756} = 0,0345,$$

puis $$x = 0^m,51 \text{ ou } D = 1^m,02.$$

Ainsi donc :

Deux appareils propulseurs de $1^m,02$ de diamètre, marchant avec une vitesse de révolution de 530 tours par minute et présentant des formes semblables à celles de l'appareil d'essai, absorberont le travail moteur fourni par une machine de cinq chevaux et donneront un effet utile qui va être facilement déduit d'une comparaison semblable à la précédente.

Effet utile. — La formule établie page 27, simplifiée aussi par la suppression de R_0, devient :

$$\frac{2\Pi\pi}{5g}\omega'^2 R'^4 = \frac{6,28 \times 1.29}{2 \times 29.43} \times \overline{46,58}^2 \times \overline{0,51}^4 = 19^k.8$$

et pour les deux appareils $39^k.6$

applicables au déplacement de l'appareil.

APPLICATION PARTICULIÈRE

AU BALLON DE M. DUPUY DE LOME.

Les études que nous avons faites, permettent de déterminer les dimensions qu'il convient de donner aux propulseurs qui auront à produire une force propulsive connue.

Les expériences faites pendant la guerre par MM. Hervé Mangon et L. Durand Claye, ont fait connaître la résistance offerte par la translation, dans l'air, d'un aérostat sphérique de 650 mètres cubes de capacité, et fournissent la relation entre la force de translation F, le poids du mètre cube d'air D, la surface S d'un grand cercle de la sphère et la vitesse de marche V du ballon.

Les observations sont représentées, en effet, d'une manière satisfaisante par la formule

$$F = 0,02 \times D \times S^{1,10} \times V^2.$$

Pour faire application de ces données théoriques et expérimentales au ballon de M. Dupuy de Lôme, il ne manque que la connaissance du rapport existant entre la résistance présentée par la sphère et la résistance propre au ballon de M. Dupuy de Lôme.

Nous sommes à même de compléter cette lacune, et par conséquent de calculer la puissance de la machine qui convient à cet appareil pour lui faire acquérir une vitesse de marche donnée.

En effet,

Nous avons déterminé, par expérience, le rapport existant entre la résistance que rencontrent dans l'air :

Un plan ;
Une sphère ;
Un fuseau,

ayant tous trois la même section transversale, et nous croyons que ce rapport sera maintenu pour une autre section quelconque de ces trois appareils, alors même que la valeur de la résistance par unité de surface serait changée.

Ce rapport s'exprime par les chiffres :

Plan	100
Sphère	78
Fuseau	31

Le ballon de M. Dupuy de Lôme n'exigera donc que les $\frac{31}{78}$ de l'effort qui serait nécessité par un ballon sphérique, et la formule précédente devient pour cet appareil :

$$F = \frac{31}{78} \times 0,02 \times D \times S^{1,10} \times V^2,$$

D'où

$$F = 0,00795 \times 1^k,29 \times S^{1,10} \times V^2.$$

Or, le ballon de M. Dupuy de Lôme a une section transversale maximum S de 172^{mq}, cet appareil exigerait donc des tractions horizontales F ; savoir :

Pour V = 1	mètre	F' = 2^k,88.
= 2	*id.*	= 11^k,52.
= 3	*id.*	= 25^k,92.
= 4	*id.*	= 46^k,08.
= 5	*id.*	= 72^k,00.
= 10	*id.*	= 288^k,00.

La machine motrice de cinq chevaux et les propulseurs que nous avons calculés précédemment, pourraient donc répondre à l'obligation théorique qui correspond à une vitesse de quatre mètres par seconde. Mais nous ne croyons pas qu'il soit possible de marcher avec une semblable vitesse, et par conséquent nous pensons qu'une machine de quatre chevaux serait suffisante aux besoins de la traction.

Depuis longtemps déjà on a proposé d'actionner le propulseur des ballons par une machine à gaz, puisant dans le ballon même son approvisionnement. Cette solution très ingénieuse n'était réalisable qu'autant que la machine à gaz n'exigerait qu'un faible volume de cette matière et que la machine elle-même aurait acquis des perfectionnements qui lui manquaient encore récemment.

Or, il est arrivé que la machine a été améliorée à ce point qu'un cheval n'exige plus qu'une consommation de un mètre cube par heure, et dès lors un volume de 40 mètres cubes devra permettre d'entretenir

la machine de quatre chevaux pendant dix heures. D'un autre côté, le ballonnet de M. Dupuy de Lôme permettra de prendre ce volume de gaz dans le ballon sans provoquer un dégonflement nuisible; tout favorise donc l'application de ce programme.

Le poids d'une machine à gaz se bornerait en effet à celui de deux cylindres, des bielles, de l'arbre portant les manivelles et de deux poulies sur lesquelles s'enrouleraient les cordes qui commanderont les deux propulseurs.

Quant aux propulseurs eux-mêmes, nous les supposons placés en dehors de la nacelle, sur des axes auxquels on pourra, de l'intérieur, donner des inclinaisons qui permettront d'imprimer à volonté, à tout l'ensemble, des directions ascendantes, horizontales ou descendantes. Ces mouvements pourront donc s'accomplir sans dépense de gaz ni de lest, au moins dans les proportions qui sont nécessaires pour la translation à petite distance du sol, et c'est, croyons-nous, une solution assez intéressante pour qu'il faille s'en contenter au début.

ÉTUDE TECHNIQUE

SUR LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION

D'UNE LIGNE SECONDAIRE D'INTÉRÊT GÉNÉRAL

LE CHEMIN DE FER

DE VITRÉ A FOUGÈRES

ET A LA BAIE DU MONT-SAINT-MICHEL

PAR M. A. DORNÈS.

Au moment où la question des chemins de fer est plus que jamais à l'ordre du jour, nous avons pensé qu'il pouvait être intéressant de faire connaître quelques données exactes sur la construction et l'exploitation d'un chemin de fer, qui, par sa situation, son tracé et son trafic, peut être considéré comme représentant assez bien le type moyen de la plupart des lignes restant à construire pour compléter notre réseau de voies ferrées.

Cette étude nous a paru d'autant plus utile que, dans ces derniers temps, à l'occasion des débats parlementaires sur ces questions, les chiffres les plus contradictoires ont été cités, et que maintes fois nous avons pu constater nous-mêmes, la pénurie de renseignements exacts et pratiques sur la construction et l'exploitation des chemins de fer dits économiques.

Nous avons donc groupé en quelques tableaux, les renseignements statistiques sur les conditions techniques d'établissement, les frais de construction et d'exploitation de la ligne de Vitré à Fougères et à la baie du Mont-Saint-Michel, dont nous dirigeons la construction et l'exploitation depuis 1873, en les faisant suivre de notes explicatives et de

quelques considérations et observations pratiques sur les résultats obtenus.

Historique. — La ligne de Vitré à la baie du Mont-Saint-Michel se compose de deux sections distinctes au point de vue de la déclaration d'utilité publique et de la concession.

1° La section de Vitré à Fougères (37 kil.), déclarée d'utilité publique et concédée comme ligne *d'intérêt local*, le 30 août 1865.

2° La section de Fougères à Moidrey (44 kil.), concédée comme ligne *d'intérêt général* le 26 juillet 1868, et déclarée d'utilité publique le 22 décembre 1869.

Il en résulta des différences notables dans l'établissement de ces deux tronçons; nous les étudierons donc séparément au point de vue de leur construction :

Une Compagnie dite de « Fougères à Vitré » se forma pour la construction et l'exploitation de la ligne de Vitré à Fougères et la mit en exploitation provisoire dès octobre 1867.

L'exploitation définitive commença le 1er avril 1868.

Le prolongement de Fougères à la baie du Mont-Saint-Michel fut concédé à la même Compagnie qui prit le titre de « Compagnie anonyme de Vitré à Fougères et prolongements ». Par cette nouvelle concession, la Compagnie acceptait le cahier des charges des lignes d'intérêt général, aussi bien pour la nouvelle ligne à construire, que pour celle de Vitré à Fougères qui devint alors par ce fait ligne d'intérêt général à partir du 1er janvier 1870.

Malgré la guerre de 1870-1871, la ligne de Fougères à Moidrey fut mise en exploitation provisoire le 1er janvier 1872 sur 18 kilomètres, et sur toute son étendue le 1er octobre suivant.

Situation topographique et conditions techniques d'établissement. — La ligne de Vitré à Fougères part d'une gare spéciale accolée à celle de la Compagnie de l'Ouest à Vitré, à la cote 88m,25 au dessus du niveau de la mer, passe la rivière « la Vilaine » sur un viaduc de 115 mètres de longueur, suit la vallée de la Vilaine pour passer ensuite dans celles de « la Pérouse » et de « la Cantache », puis, après avoir franchi la ligne de faîte de partage des eaux qui sépare le bassin de la Vilaine de celui du Couesnon à la cote 135m,32, redes-

cend dans la vallée « du Couesnon » pour passer cette rivière à la cote 72m,92 et remonter ensuite à Fougères dont le niveau de la gare est à la cote 97m,01.

Pour des raisons d'économie, on a cherché autant que possible à éviter les grands mouvements de terre, aussi, sur cette section, le tracé est-il très accidenté en plan comme en profil, ainsi qu'on pourra s'en rendre compte par le tableau statistique des conditions techniques d'établissement.

La section de Fougères à la baie du Mont-Saint-Michel, construite à plus de frais, comme ligne d'intérêt général, présente un tracé où l'on rencontre une moins grande proportion de courbes de 300 mètres de rayon, et un profil où la proportion des pentes de 15 millimètres, est également diminuée. Cette ligne part de la gare de Fougères pour passer en tunnel sous la ville de Fougères, et remonter ensuite la vallée de la petite rivière « le Nançon » en s'élevant rapidement pour passer à la cote 160m,39 de cette vallée dans celle de la rivière « l'Oisance », qu'elle suit jusqu'à son confluent avec « le Couesnon »; le tracé suit alors la vallée du Couesnon pour aboutir à Moidrey à la cote 7m,83.

La longueur totale des deux sections réunies est de 80,923 mètres.

De Vitré à Fougères, il y a une station et deux garages.

De Fougères à Moidrey, les stations sont au nombre de trois et il y a trois garages.

Les jours de marchés et de foires, les trains desservent aussi un certain nombre de haltes, trois entre Vitré et Fougères, une entre Fougères et Moidrey.

LIGNE DE VITRÉ A LA BAIE DU MONT SAINT-MICHEL.

Tableau des conditions techniques d'établissement.

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	Longueur exploitée.	PLAN. LONGUEURS					Minimum du rayon des courbes.	Maximum de déclivité.	PROFIL. LONGUEURS					PLAN PROPORTION POUR 100.					PROFIL PROPORTION POUR 100.				
		En alignements droits.	EN COURBES.						En palier.	EN DÉCLIVITÉS.													
			De 1000 mètres de rayon et au-dessus.	De 950 mètres de rayon à 550 m. de rayon.	De 500 mètres de rayon à 350 m. de rayon.	De 300 mètres de rayon et au-dessous.				Inférieures à 5 millim. par mètre.	De 5 millimètres par m. à 9 mill.,9 par mètre.	De 10 millimètres par m. à 14 mill.,9.	De 15 millimètres par m. et au-dessus.	Des alignements droits.	Des courbes de 1000 mètres de rayon et au-dessus.	Des courbes de 950 mètres de rayon à 550 mètres de rayon.	Des courbes de 500 mètres à 250 mètres de rayon.	Des courbes de 300 mètres de rayon et au-dessous.	Des paliers.	Des déclivités inférieures à 5 millimètres par mètre.	Des déclivités de 5 millimètres à 9 mill.,9 par mètre.	Des déclivités de 10 millimètres à 14 mill.,9 par mètre	Des déclivités de 15 millimètres par mètre et au-dessus.
	mètres.	métré.																					
SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES.	k. m. 36.761	m. 18641	m. 1767	m. 2523	m. 3989	(1) m. 8841	m. 250	mill. 16.3	m. 15793	m. 2751	m. 1941	m. 4823	m. 11443	0,535	0,048	0,069	0,108	0,240	0,430	0,075	0,053	0,131	0,311
SECTION DE FOUGÈRES-MOIDREY.	k. m. 44.162	m. 25863	m. 4132	m. 3861	m. 5524	(2) m. 4782	m. 250	mill. 15.0	m. 16874	m. 1850	m. 3339	m. 13411	m. 8688	0,587	0,093	0,087	0,125	0,108	0,382	0,042	0,075	0,304	0,197

NOTA. — (1) Sur la section de Vitré-Fougères, il n'y a que 1308 mètres en courbes de 250 mètres de rayon et 1000 mètres seulement de rampes de plus de 15 millimètres.
(2) Sur la section de Fougères-Moidrey, il y a seulement 249 mètres de courbes de 250 mètres de rayon.
Aux pentes ou rampes de 15 millimètres par mètre correspondent parfois des courbes de 300 mètres de rayon, mais jamais de rayons inférieurs à 300 mètres.

Les chiffres du tableau qui précède parlent suffisamment d'eux-mêmes pour que nous croyions inutile de les discuter; nous nous bornerons seulement à faire remarquer que la principale différence entre les deux sections de Vitré-Fougères et Fougères-Moidrey, réside surtout dans la proportion relative des différentes courbes et rampes, les alignements et paliers dans les deux cas restant à peu près dans la même proportion par rapport à la longueur totale des sections. Nous constaterons de plus que sur Fougères-Moidrey, on n'a pu éviter 1,626 mètres de courbes de 300 mètres de rayon coïncidant avec des pentes de 15 millimètres, ce qui rend l'exploitation de cette section aussi difficile au point de vue de la traction, que celle de Vitré-Fougères, où il y a 3,783 mètres de pentes de 15 millimètres en courbes de 300 mètres.

PREMIÈRE PARTIE

CONSTRUCTION ET DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT.

Nous examinerons les principales conditions de construction et d'établissement des deux lignes en question au point de vue de leur prix de revient, en donnant quelques détails sur les travaux les plus importants, afin de mieux faire saisir les résultats obtenus.

Les dépenses ont été arrêtées au 31 décembre 1876, époque à laquelle on pouvait considérer les lignes comme complètement terminées. — Nous ferons de plus remarquer, que tous les chiffres cités ayant été relevés sur les livres de la Compagnie ainsi que sur les décomptes des entrepreneurs, sont d'une exactitude absolue.

Nous avons divisé cette étude par groupes généraux de dépenses, en mettant toujours en regard les deux sections de Vitré à Fougères et de Fougères à Moidrey.

Ces groupes généraux de dépenses sont : **Les Frais généraux, l'Infrastructure, la Superstructure, le Matériel d'exploitation, les Frais accessoires.**

FRAIS GÉNÉRAUX.

Les dépenses afférentes aux « frais généraux » se décomposent comme suit :

1° *Études préliminaires,* comprenant : Frais de concession, d'enquêtes, Études des tracés, etc.

2° *Frais généraux,* comprenant : Frais de Conseil d'administration,

de Direction, Personnel de conduite et de surveillance des travaux, Frais de comptabilité, de déplacements, etc.

3° *Frais divers*, comprenant : Frais de loyers, Contributions, Frais de bureaux, Dépenses de mobilier, chauffage, éclairage, etc., etc.

Ces dépenses sont réparties de la façon suivante :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES.		SECTION DE FOUGÈRES A MOIDREY.	
	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Études préliminaires	42.198 43	1.140 50	40.961 40	930 94
Frais généraux	151.743 31	4.101 17	214.871 42	4.883 44
Frais divers	29.957 70	809 67	32.713 00	743 48
Total	223.899 44	6.051 34	288.545 82	6.557 86

Les différences entre les prix de revient de chacune des sections sont assez faibles pour qu'il n'y ait pas lieu de s'y arrêter ; nous appellerons seulement l'attention sur le bas prix de revient kilométrique de ces deux lignes, en ce qui concerne ce chapitre ; il montre bien avec quelle économie les travaux ont été dirigés. La principale cause de cette économie doit être attribuée à la rapidité de leur construction ; Vitré-Fougères construit en moins de deux ans à partir de la déclaration d'utilité publique, Fougères-Moidrey construit en moins de trois ans, malgré une année perdue par suite de l'arrêt forcé dû à la guerre de 1870-71.

INFRASTRUCTURE.

Les dépenses de l'infrastructure se répartissent de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ-FOUGÈRES.		SECTION DE FOUGÈRES-MOIDREY.	
	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Terrains	332.467 54	8.985 61	516.819 83	11.745 90
Terrassements	490.846 93	13.266 13	724 488 72	16.465 65
Ouvrages d'art	268.938 46	7.268 61	427.691 96	9.720 27
Maisons de gardes, clôtures, passages à niveau	63.372 01	1.712 76	52.929 62	1.202 95
Total	1.155.624 94	31.233.11	1.721.930 13	39.134 77

Les dépenses *Terrains* comprenant : Frais d'enquêtes parcellaires, Frais d'expropriation, Frais d'acquisition de terrain, Indemnités diverses, etc., etc.

Les dépenses *Terrassements* comprenant : Frais de travaux de terrassements à l'entreprise et en régie, dérivations de cours d'eau, déviations de chemins, rampes d'accès des passages à niveau, rigoles et fossés, etc., etc.

Les dépenses *Ouvrages d'art* comprenant : Frais de travaux de maçonnerie à l'entreprise et en régie, terrassements pour fondations, épuisements, enrochements, tabliers de ponts métalliques, etc., etc.

Les dépenses *Maisons de garde, clôtures, passages à niveau* comprenant : Frais de construction de maisons de garde, frais de clôtures et plantations, barrières de passages à niveau, guérites, empierrement de passages à niveau, etc., etc.

Terrains. — 1° *Section de Vitré-Fougères*. — Sur cette section, les terrains n'ont été achetés que pour une seule voie, et afin de diminuer encore la dépense, l'emprise a été tellement réduite que, dans la plupart des cas, on a éprouvé de grandes difficultés pour l'établissement des clôtures et la construction des rigoles pour l'écoulement des eaux.

La largeur du couronnement de la plate-forme a été également réduite à 5 mètres.

Quoique dans le pays traversé, les terrains n'aient qu'une valeur moyenne de 3 à 4,000 fr. l'hectare, la proportion des frais d'acquisition a été très augmentée par suite de l'expropriation de nombreuses maisons d'habitation pour l'établissement de la gare de Vitré. Le prix moyen de l'hectare, y compris les maisons d'habitation expropriées, s'est ainsi trouvé porté à 7,400 fr.

La largeur moyenne de l'emprise, non compris les gares, a été de $9^{m},40$.

La superficie totale occupée par les gares a été de 5 hectares, 6 ares, 20 centiares, soit 17, 3 °/₀ de l'emprise totale.

Les chemins latéraux occupent une superficie de 5 hectares, 15 ares, soit 14, 7 °/₀ de l'emprise totale.

Ils ont un développement de 14,640 mètres, soit 40 °/₀ de la longueur totale de la section.

2° *Section de Fougères-Moidrey.*—Les terrains ont été achetés pour deux voies, le profil étant du reste aussi réduit que peut le permettre le cahier des charges des lignes d'intérêt général qui régissait cette nouvelle construction.

Quoique l'on n'ait pas eu à payer de fortes indemnités pour expropriations d'habitations, le prix de la dépense par kilomètre est proportionnellement assez élevé, parce que dans le département de la Manche, traversé sur environ 10 kilomètres, les terrains ont une valeur beaucoup plus grande, qui atteint jusqu'à 10,000 fr. par hectare. Le prix moyen de l'hectare, tous frais compris, a été de 6,890 fr.

Sur cette section la largeur moyenne de l'emprise de voie courante, gares non comprises, est de $13^{m},64$.

La superficie occupée par les gares est de 11 hectares, 40 ares, 05 centiares, soit 19 °/₀ de l'emprise totale.

La superficie des chemins latéraux est seulement de 3 hectares, 50 ares, soit 6 °/₀ de l'emprise totale, et ils n'ont qu'un développement de 11 kilomètres, soit 25 °/₀ de la longueur de la ligne entière.

Sur cette section en effet, on a créé un beaucoup plus grand nombre de passages à niveau, tant publics que particuliers, ce qui a réduit d'autant la proportion des chemins latéraux; il en résulte, il est vrai, une plus grande facilité de circulation pour les riverains, mais cela complique singulièrement le service de la sécurité et de la surveillance.

Terrassements. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — Le cube total des terrassements de plate-forme a été de 264,677 mètres cubes, soit $7^{mc},153$ par mètre courant de voie; le prix moyen par mètre cube pour fouille, charge, transport, déchargement et régalage a été de 1 fr. 417.

Cela représente une dépense kilométrique de 10,137 fr. 51.

Ce cube total contenait une proportion de :

33 °/₀ de déblais de 1ʳᵉ classe (fouille à la pelle.)

57 °/₀ de déblais de 2ᵉ classe (fouille au pic et à la pelle.)

10 °/₀ de déblais de 3ᵉ classe (rocher.)

dont la fouille, charge et régalage étaient payés au prix moyen de :

0 fr. 45 pour la 1ʳᵉ classe.

0 fr. 72 pour la 2ᵉ classe.

2 fr. 60 pour la 3ᵉ classe.

Les travaux pour déviations des chemins, rampes d'accès de passages à niveau, dérivations de cours d'eau, travaux en régie et imprévus, compris dans ce chapitre, se sont montés à la somme de 3,128 fr. 62 par kilomètre.

2° *Section de Fougères-Moidrey.* — Le cube total des terrassements de cette section a été de 437,279 mètres cubes.

Soit 9^{mc},96 par mètre courant de ligne.

Le prix moyen du mètre cube, y compris fouille, charge, transport, déchargement et régalage a été de 1 fr. 358.

Cela représente une dépense kilométrique de 13,504 fr. 60.

Ce cube total contient une proportion de :

77 pour 100 de déblais de toute nature, autres que ceux extraits à la poudre.

23 pour 100 de déblais extraits à la poudre.

La fouille, charge et régalage étaient payés :

0 fr. 58 pour les terrassements de 1re classe (terres de toute nature.)

2 fr. 38 pour les terrassements de 2e classe (rocher.)

Les travaux divers pour déviations de chemins et de cours d'eau, rampes d'accès, travaux imprévus et en régie, etc., etc. se sont élevés sur cette section à la somme de 2,961 fr. 05 par kilomètre.

Ouvrages d'art. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — Sur cette section les ouvrages d'art se répartissent de la façon suivante :

DÉSIGNATION.	Nombre.	En maçonnerie.	Avec tabliers métalliques.	Longueur ensemble entre les culées.	Longueur entre les têtes.
Passages sous rails.........	4	1	3	15^{m}.00	»
Passages sur rails..........	2	»	2	15 .00	15^{m}.40
Ponts de 5 à 20 mètres d'ouverture................	3	»	3	18 .00	»
Ponts et aqueducs de moins de 5 mètres...............	62	48	14	59 .75	»

Ouvrages exceptionnels. — A la sortie de Vitré, sur la rivière

« La Vilaine », on a dû établir un viaduc en maçonnerie de 115 mètres de longueur sur 18m,50 de hauteur moyenne.

La largeur au niveau de la plate-forme est de 4m,70, et elle est de 7 mètres à la base.

Les piles intermédiaires sont au nombre de huit, reliées par des voûtes en plein cintre. — Les appareils des voûtes et pieds-droits sont seuls en pierres de taille de granit, les parements du reste des maçonneries sont en maçonnerie dite « mosaïque. »

Le cube total des enrochements, tant en fondations que sur les tympans des voûtes et derrière les culées a été de.	541mc, 82
Le cube total de béton, en fondation et sur les voûtes a été de.	675mc, 28
Le cube total des maçonneries ordinaires a été de. .	3,728mc, 80
id. id. de granit	220mc, 58
	5,166mc, 48

Soit environ 45 mètres cubes par mètre courant, maçonnerie et enrochements compris.

Le prix total de l'ouvrage, y compris les cintres et travaux divers a été de 131,667 fr. 05, soit 1,145 fr. le mètre courant.

Le prix de base, (maçonneries ordinaires) a été de 18 fr. le mètre cube.

Comme autres ouvrages exceptionnels, il faut ajouter divers grands murs de soutènement pour l'établissement de la gare de Vitré, dont le cube total est de plus de 1,500 mètres cubes.

La dépense occasionnée par ces travaux exceptionnels représente près de 60 pour 100 de la dépense totale afférente aux ouvrages d'art.

Par suite des conditions du tracé, qui suivait autant que possible toutes les sinuosités du sol, on a eu recours à un emploi plus considérable de tabliers métalliques pour les petits ouvrages. — A part le lot d'entreprise comprenant la gare et la sortie de Vitré, le prix moyen du mètre cube de maçonnerie ordinaire a été de 13 fr. 25 pour tout le reste de la section.

2e *Section de Fougères-Moidrey.* — Sur cette section on a dû établir les ouvrages d'art suivants :

DÉSIGNATION.	Nombre.	En maçonnerie.	Avec tabliers métalliques.	Longueur ensemble entre les culées.	Largeur ensemble entre têtes.
Passages sous rails.........	2	2	»	3m.50	»
Passages sur rails..........	3	2	1 (biais)	15 .00	37m.15
Ponts de 5 à 20 mètres d'ouverture................	4	3	1	23 .00	»
Ponts et aqueducs de moins de 5 mètres...............	75	75	»	55 .00	»

Ouvrages exceptionnels. — 1° Un tunnel sous la ville de Fougères, percé dans des schistes granitiques assez durs pour qu'on ait pu laisser le rocher servir de pied-droit, sans revêtement, sur une surface de 45 mètres carrés.

Ce tunnel a 282m,60 de longueur.

Le cube total de déblais a été de 9,807 mètres cubes, soit 34m,70 par mètre courant.

Ces déblais ont été payés sur la base de 20 francs le mètre cube en galerie et de 12 francs pour les pieds-droits.

Le cube total des maçonneries a été de 2,434mc,42, soit 8m,60 par mètre courant, payés à raison de 22 fr. 34 le mètre cube de maçonnerie de voûte, et 16 fr. 07 le mètre cube de maçonnerie de pied-droit.

La dépense totale de l'ouvrage s'est élevée à 202,243 fr. 74, soit 715 fr. 60 le mètre courant.

La hauteur du tunnel est de 5m,40 au-dessus du rail et la largeur entre pieds-droits au niveau de la plate-forme, de 4m,50. — La voûte est en plein cintre.

2° Une tranchée couverte sur 83m,60 de longueur, pour soutenir des masses schisteuses qui avaient une tendance au glissement.

Le cube total des maçonneries a été de 1,660 mètres cubes, soit 20 mètres cubes par mètre courant, payés à raison de 12 fr. 37 le mètre cube, cintres non compris.

Le prix total de la voûte et des pieds-droits a été de 27,092 francs, soit 326 fr. 40 le mètre courant.

La voûte est en plein cintre et les dimensions intérieures sont les mêmes que celles du tunnel de Fougères.

La tranchée qu'il a fallu couvrir avait elle-même donné lieu à un dé-

blai de 30,606 mètres cubes, dont 28,106 à la mine ; et le prix total du déblai, transport non compris, avait été de 70,074 fr. 95, soit 638 fr. 20 par mètre. Le prix total par mètre courant de tranchée couverte a donc été de 964 fr. 60. — Il eût été bien plus économique de faire un souterrain proprement dit qui aurait eu quelques mètres de plus que la tranchée couverte, mais aurait néanmoins, comme dépense finale, coûté moins cher.

Les dépenses de travaux exceptionnels sur cette section ont donc été d'environ 53 pour 100 des dépenses totales se rapportant aux ouvrages d'art. Ces grands travaux joints à une plus grande importance de la plupart des ouvrages, expliquent le prix de revient plus élevé de cette section, en ce qui concerne les ouvrages d'art, par rapport à la section Vitré-Fougères.

Sur cette section les maçonneries ordinaires ont été payées sur le prix moyen de 13 francs le mètre cube.

Maisons de garde, clôtures, passages à niveau. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — Sur cette section il y a sept maisons de garde, deux maisons de première classe servant de bâtiment de gare à deux garages et cinq maisons de deuxième classe.

Les maisons de garde de première classe ont un rez-de-chaussée et un étage, celles de deuxième classe n'ont qu'un rez-de-chaussée.

Les maisons de première classe ont coûté 4,260 francs, l'une, non compris le terrain, celles de deuxième classe sont revenues à 3,630 fr. chacune, terrain non compris.

Sur cette section il y a 57 passages à niveau :

15	passages	gardés au moment du passage des trains et munis de barrières.
31	id.	publics non munis de barrières et sur lesquels la circulation s'effectue aux risques et périls des passants.
11	id.	concédés à des particuliers et munis de barrières toujours fermées.
57	Total.	

Les 15 passages gardés comprennent :		2	passages	de	10	mètres
—	—	2	id.	de	8	—
—	—	2	id.	de	6	—
—	—	9	id.	de	4	—

Les passages à niveau de 10 mètres sont munis de barrières roulantes en fer, les autres passages ont des barrières en bois à 2 vantaux.

Les passages publics non gardés ont tous 4 mètres de largeur et ceux concédés à des particuliers sont de 3 mètres.

L'espacement moyen des passages à niveau publics est de 804^{m},35.
id. id. de deux passages à niveau, y compris passages publics et particuliers, est de 650 mètres.

Les passages gardés, non munis de maisons de garde, sont pourvus d'une guérite pour abriter le gardien.

Ce nombre considérable de passages à niveau tient à la proportion relativement faible des chemins latéraux car, ainsi qu'on l'a dit, elle n'est que de 40 pour 100 de la longueur de la ligne.

Sur la plus grande partie de la section, par raison d'économie, les clôtures ont été laissées à la charge des riverains, qui ont reçu de ce fait une indemnité de 0 fr. 25 par mètre de clôture à exécuter; mais il faut reconnaître qu'en général ces clôtures laissent beaucoup à désirer.

2° *Section de Fougères-Moidrey*. — Sur cette partie, il n'y a pas de maisons de garde, ce qui explique de suite la différence de prix avec la section de Vitré-Fougères, pour le même sous-détail de dépenses.

Sur cette section, il existe 126 passages à niveau.

20	passages gardés au moment du passage des trains.	
60	id.	publics sur lesquels la circulation s'effectue aux risques et périls des passants.
46	id.	concédés à des particuliers.
126	Total.	

Sur les vingt passages gardés, il y en a sept de 6 mètres d'ouverture et treize de 4 mètres; les barrières sont toutes en bois et à 2 vantaux.

L'espacement moyen des passages à niveau publics est de 557 mètres.
id. id. de deux passages à niveau, y compris les passages particuliers, est de 350 mètres.

Il y a encore bien moins de chemins latéraux que sur Vitré-Fougères, d'où il résulte un rapprochement plus grand des passages.

Comme sur Vitré-Fougères, la plupart des clôtures ont été laissées à la charge des riverains qui ont reçu à titre d'indemnité 0 fr. 25 par mètre de clôture à faire.

SUPERSTRUCTURE.

Les dépenses relatives à la « superstructure » se sont réparties de la façon suivante :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES.		SECTION DE FOUGÈRES A MOIDREY.	
	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Voie	858.475 45	23.202 04	1.247.223 51	28.345 99
Ballastage	221.262 57	5.980 07	186.689 03	4.242 93
Accessoires de la voie	62.203 24	1.681 17	145.742 81	3.312 34
Bâtiments	97.348 61	2.631 04	135.071 30	3.069 80
Alimentation	13.826 29	373 69	33.003 85	750 09
Remises et ateliers	43 517 76	1.176 16	39.901 77	906 86
Matériel fixe	33.053 94	893 34	42.028 75	955 20
Total	1.329.687 86	35.937 51	1.829.661 02	41.583 21

Les dépenses *Voie*, comprennent : rails, traverses, crampons, éclisses, boulons, pose de voie, etc.

Les dépenses *Ballastage*, comprennent : extraction, transport et régalage du Ballast, soit en entreprise, soit en régie.

Les dépenses *Accessoires de la voie*, comprennent : changements et croisements de voie, avec leurs bois spéciaux de pose; plaques tournantes; pose et installation de ces appareils, soit à l'entreprise, soit en régie.

Les dépenses *Bâtiments*, comprennent : bâtiments des voyageurs, bâtiments des stations, halles, quais découverts, empierrements de cours, etc., etc.

Les dépenses *Alimentation*, comprennent : puits, estacades en bois ou en maçonnerie, machines élévatoires, grues hydrauliques, etc.

Les dépenses *Remises et ateliers*, comprennent : remises à machines et à wagons, fosses à piquer le feu, dortoirs des mécaniciens, bâti-

ments des ateliers et installation des voies d'ateliers, magasins généraux et dépôts, etc.

Les dépenses *Matériel fixe*, comprennent : disques et signaux, grues, ponts à bascule, gabarits, installation de ces appareils, etc., etc.

Voie. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Les rails sont en fer, du type Vignole de 30 kilogrammes le mètre courant. L'éclissage est fait par 4 boulons de 16 millimètres de diamètre. La voie est fixée sur les traverses par des crampons carrés de forme pointue. Il y a une traverse par mètre ; ces traverses sont en chêne du pays et ont les dimensions moyennes suivantes : 2m,40, — 0m,20, — 0m,13.

La voie en place, la Compagnie fournissant le ballast et les traverses, était payée à un entrepreneur sur la base de 16 fr. 25 le mètre courant ; et dans ce prix les rails étaient décomptés à 22 francs les 100 kilogrammes. Les traverses ont été payées 4 fr. 05 pour les traverses ordinaires, et 5 fr. 50 pour les traverses plus fortes dites « *de joint.* »

Les voies accessoires des gares et stations se répartissent de la facon suivante :

	Longueurs totales.	Longueurs utilisables.
Voies d'évitement.	1073m,80	523m,00
Voies de garage.	1730 ,00	1195 ,00
Voies de déchargement. . .	1437 ,00	1047 ,00
Total.	4240m,00	2765m,00

La proportion des longueurs totales de voies d'évitement, de garage, de déchargement, par rapport à la longueur totale de la ligne est de 11,5 pour 100, proportion un peu faible, il faudrait au moins 15 pour 100.

La proportion de la longueur utilisable de voies accessoires, par rapport à la longueur totale de ces mêmes voies, est de 65 pour 100.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Les rails sont en fer type Vignole de 35 kilogrammes le mètre. L'éclissage se fait au moyen de 4 boulons de 19 millimètres. Les traverses sont en chêne du pays de même dimension que Vitré-Fougères et également espacées de 1 mètre d'axe en axe.

Les rails sont fixés sur les traverses par des crampons de 19 millimètres à section octogonale de 135 millimètres de longueur.

Les rails furent payés 223 francs les 1000 kilog. pour un premier marché (1870) et 253 francs pour une deuxième fourniture (en 1872).

Les éclisses ont été payées 23 francs les 100 kilogrammes, les crampons 36 francs et les boulons 38 francs.

Le prix moyen des traverses a été de 4 fr. 35 l'une. (Depuis cette époque la Compagnie a pu faire des marchés importants de traverses au prix de 4 francs et 3 fr. 85, mais, dans ces dernières années, les prix se sont relevés et actuellement la Compagnie les paie 4 fr. 25.)

La pose de la voie fut payée à l'entreprise 1 fr. 60 le mètre courant; avec les frais de régie et imprévus, le mètre courant est ressorti à 1 fr. 785.

Le prix, proportionnellement plus élevé de la « voie » sur cette section, est dû à l'augmentation du poids des rails, éclisses, boulons et crampons et à une plus grande proportion de matériel de voie laissé en approvisionnement.

Les voies d'évitement, de garage et de déchargement se répartissent sur cette section de la façon suivante :

	Longueurs totales.	Longueurs utilisables.
Voies d'évitement.	1142^{m},00	622^{m},00
Voies de garage.	780 ,00	530 ,00
Voies de déchargement. .	2912 ,00	2102 ,00
Total.	4834^{m},00	3254^{m},00

La proportion de la longueur totale de ces voies par rapport à la longueur totale de la section est de 11 pour 100; comme sur Vitré-Fougères, cette proportion est trop faible.

Le rapport de la longueur utilisable de ces mêmes voies à leur longueur totale, est de 67 pour 100.

Ballastage. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — Le ballast a 3^{m},50 de largeur au niveau des rails et 0^{m},40 d'épaisseur; en déduisant le cube des traverses, par mètre de voie courante, il devrait donc y en avoir 1^{mc},50, et, si on y ajoute 11,5 pour 100 pour les voies accessoires, on aurait 1^{m},672 par mètre courant de ligne, stations comprises. Or, le cube réel du ballast employé, gares et stations comprises, a été de 2^{m},11 par mètre courant. Cette augmentation est due à ce que les terrassements étant très irréguliers et de date trop récente, c'est avec

du ballast qu'on a dû combler les vides et compenser les irrégularités de la plate-forme.

Sur cette section, le ballast a été payé 2 fr. 75 et 2 fr. 47 suivant les lots.

Ce ballast est formé de sables granitiques et de schistes ardoisiers, ces derniers formant du reste un très mauvais ballast.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Le profil du ballast sur cette section est le même que sur Vitré-Fougères, et, en tenant compte de la proportion des voies accessoires, on aurait un cube de $1^m,66$ par mètre courant, gares comprises. Le cube réel, d'après les métrés et décomptes, a été de $1^m,61$ par mètre courant de ligne, voies accessoires comprises. Il y a donc proportionnellement moins de ballast sur cette section, mais comme il est de meilleure qualité et que les rails sont plus lourds, la voie est néanmoins d'un entretien plus facile que sur Vitré-Fougères.

Le ballast, composé de sables granitiques et de cailloux roulés, a été payé à l'entreprise sur le prix de 2 fr. 75 le mètre cube[1].

Accessoires de la voie. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — Les installations des garages et même des gares de cette section étaient très primitives. Dans les garages, la voie d'évitement fut seule posée et elle sert en même temps de voie de déchargement; c'est de cette pénurie d'aménagements que résulte le prix de revient kilométrique si peu élevé pour les dépenses de ce compte.

Lors du prolongement au delà de Fougères, on dut remanier à peu près entièrement la gare de Fougères, mais la disposition des aménagements antérieurs n'a pas permis de donner à cette gare toute l'extension désirable.

Sur cette section on a :

1 changement à 3 voies, dont le prix avec croisement, pose comprise, a été de 3,145 francs.

1. Sur la quantité de ballast portée dans les dépenses de ce compte, la Compagnie en a fait elle-même depuis la mise en exploitation environ 6,000 mètres cubes, dont le prix de revient a été de 0 fr. 85 par mètre cube, tous frais compris.

La fouille, charge, décharge et temps perdu, est revenue à 0 fr. 57 par mètre.

Les frais de traction (non compris usure du matériel), sont revenus à 0 fr. 28 par mètre.
La distance moyenne de transport était de 18 kilomètres.

13 changements simples avec leurs croisements, payés 1,470 francs l'un.

Les bois de changements et croisements étaient payés à part 400 fr. par changement.

6 plaques tournantes de $4^{m},20$ dont le prix a été de 3,650 francs chaque, pose comprise.

2 plaques tournantes de $3^{m},50$ dont le prix a été de 3,200 francs chaque, pose comprise.

Si on cherche la proportion qui existe entre les dépenses de voies d'évitement, garages, déchargement, y compris les accessoires de la voie, et les dépenses nécessitées pour l'établissement de la longueur totale de voie principale, on arrive aux résultats suivants : la dépense kilométrique totale de voie est de 29,182 fr. 11, dont il faut déduire 11,5 pour 100 de voies accessoires, c'est-à-dire que le prix kilométrique de la voie courante seule, a été de 25,826 fr. 17, les voies accessoires ayant coûté 3,355 fr. 94 par kilomètre de ligne ; si, à ce prix de revient des voies accessoires, on ajoute le prix de revient des accessoires de la voie qui en sont le complément, on a le prix total kilométrique des installations des voies accessoires et aménagements de voies de gares, qui se trouve être de 3,355 fr. 94 + 1,681 fr. 17, soit : 5,037 fr. 11, représentant 19,5 pour 100 du prix kilométrique de voie courante.

Cette proportion est trop faible ; pour que les aménagements fussent suffisants, il aurait fallu que les dépenses correspondantes fussent dans les proportions de 24 à 25 pour 100 des dépenses de voie courante.

2° *Section de Fougères-Moidrey.*— Sur cette section les installations des voies accessoires des gares, quoique encore très rudimentaires, sont cependant beaucoup plus complètes. Chaque garage a une voie d'évitement et une voie de quai servant en même temps sur une certaine longueur de voie de déchargement ; les gares ont de plus d'assez longues voies spécialement destinées au déchargement des matières encombrantes.

Il y a 54 changements et croisements payés, pose comprise, la Compagnie fournissant les bois, 1,700 francs et 1,850 francs, suivant les marchés.

9 plaques tournantes, payées 3,725 francs et 4,400 francs l'une. suivant les fournitures.

Si, pour cette section, nous faisons le même travail statistique que pour Vitré-Fougères, nous trouvons que la dépense kilométrique totale des voies a été de 32,587 fr. 82, de laquelle il faut déduire 11 pour 100 de voies de gares; le prix kilométrique de voie courante a donc été de 29,003 fr. 16, les voies de gares ayant coûté 3,584 fr. 66, prix auquel il faut ajouter les accessoires de la voie, pour avoir la dépense kilométrique afférente aux aménagements des gares, qui est par suite de 3,584 fr. 66 + 3,312 fr. 34 = 6,897 francs, représentant 23,8 pour 100 de la dépense totale de voie courante proprement dite. Étant donné le nombre des stations de cette section, il aurait fallu que les dépenses d'aménagement de voies des gares et stations représentassent au moins 25 à 26 pour 100 des dépenses de voie courante.

Bâtiments des gares et stations. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — On y rencontre deux gares importantes : Vitré (gare de transit avec la Compagnie de l'Ouest), Fougères, puis une station et deux garages. L'espacement moyen des stations ou garages est de 9,250 mètres.

A part Fougères, où les bâtiments et aménagements sont à peu près suffisants, quoique très primitifs, les autres stations ne peuvent guère figurer que pour « mémoire. »

Dans les garages, le seul bâtiment de gare consiste en une maison de garde de 1re classe dont la dépense est portée dans l'Infrastructure, au chapitre « Maisons de Garde, » et il n'y a ni quais, ni halles.

Dans la seule station qui existe entre Vitré et Fougères, il y a un petit bâtiment de gare composé seulement d'un rez-de-chaussée, une guérite servant de lampisterie et une rampe pour embarquement de bestiaux.

Enfin, à Vitré, le bâtiment de la gare, qui du reste, n'avait été construit qu'à titre provisoire, est tout à fait insuffisant, le chef de gare ne peut même y être logé.

Dans cette gare, il y a un quai découvert de 104 mètres carrés de superficie et une petite halle couverte de 80 mètres carrés.

A Fougères le quai découvert a 240 mètres carrés et la halle à marchandises 224 mètres de superficie.

La surface totale des quais découverts de cette section est donc de 344 mètres, et celle des halles à marchandises de 304 mètres.

Les halles ont 8 mètres de largeur, avec toit surélevé formant auvent

sur la cour et sur la voie, elles ont coûté en moyenne 70 francs le mètre carré couvert, non compris le quai sur lequel elles sont établies, qui, comme les quais découverts, est revenu en moyenne au prix de 12 francs le mètre superficiel.

Cette simplicité d'aménagements explique le faible prix de revient en ce qui concerne les dépenses de ce chapitre ; avec quelques centaines de francs de plus par kilomètre, on eût pu facilement remédier à cet état de choses défectueux.

2° *Section de Fougères-Moidrey.* — Sur cette partie de ligne, il y a trois garages et 4 stations, non compris celle de Fougères.

L'espacement moyen des stations ou garages est donc de 6285m,70.

Les bâtiments et aménagements des gares y sont beaucoup plus soignés que sur Vitré-Fougères.

Les bâtiments de gares sont en briques et pierres, et à deux étages.

Les bâtiments de garages ont coûté en moyenne 6,532 francs chaque.

Ceux des stations sont revenus en moyenne à 9,622 francs chacun.

Les stations sont pourvues de quais découverts et de halles, à l'exception de la station de Moidrey, où il n'y a que de longs quais découverts pour les dépôts des tangues ou sables marins qui en sont expédiés en grandes masses.

Les garages n'ont que des quais découverts ; un seul possède une halle de 80 mètres de superficie.

La surface totale des quais découverts est de 1,088 mètres, celle des halles à marchandises de 440 mètres.

Le mètre superficiel de quai est revenu, comme sur Vitré-Fougères, en moyenne à 12 francs ; celui de halles à marchandises à 70 francs, quai non compris.

Ces aménagements sont en général suffisants.

Alimentation des machines, service de l'eau. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Les réservoirs d'alimentation de 20 mètres cubes de capacité, sont montés sur des estacades en bois ; la machine d'alimentation est placée à l'intérieur de l'estacade.

Les réservoirs en place étaient livrés au prix de 3,080 francs chaque, et les machines élévatoires étaient payées 2,000 francs.

Les estacades ont coûté en moyenne 1,740 francs chaque.

Le prix moyen d'une installation a été de 6,913 fr. 15.

Il n'y a pas de grues hydrauliques isolées, les machines s'alimentent à un col de cygne fixé au réservoir au droit de l'estacade. C'est insuffisant, en cas de croisement de trains.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Les réservoirs ont 25 mètres cubes de capacité et sont installés sur des estacades en pierre et briques de forme circulaire; la machine d'alimentation est dans l'intérieur de l'estacade. Les réservoirs en place, y compris leur tuyauterie et machine d'alimentation ont été payés 5,415 francs chaque. Une estacade en maçonnerie avec son puits, a coûté en moyenne 2,668 francs. La même estacade, avec puits et citerne filtrante de 70 mètres cubes est revenue à 5,130 francs. Les grues isolées, non compris la tuyauterie de communication, ont été livrées au prix de 655 francs chaque. Le prix moyen d'une installation entière a été de 8541 francs. Il reste en approvisionnement un matériel complet d'installation non utilisé.

Remises et ateliers. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — La plupart des installations de cette section ayant dû être modifiées lors du prolongement de la ligne au delà de Fougères, nous ne pouvons qu'indiquer ce qui existait primitivement lors de la construction. On conçoit facilement que les dépenses de ce chapitre ont dû être proportionnellement plus élevées sur cette section, toutes les installations accessoires ayant été seulement augmentées et remaniées lors de l'extension de la ligne.

Il y avait à Vitré un dépôt pour une machine avec fosse à piquer le feu et dortoir pour le mécanicien. A Fougères, le dépôt était pour deux machines.

Il existait également à Fougères un atelier de réparations, ainsi que le magasin général de la Compagnie, et une remise pour six voitures.

2° *Section de Fougères-Moidrey.* — Sur cette section on a eu à construire une remise pour huit voitures et un dépôt pour deux machines; aux dépenses occasionnées par ces installations sont venues, il est vrai, s'ajouter celles résultant des modifications et agrandissement des aménagements de Fougères, mais cette section a néanmoins largement profité des installations faites précédemment pour Vitré-Fougères.

Nota. — Si l'on veut se rendre un compte plus exact de l'ensemble des dépenses de ce chapitre, il faut prendre la ligne entière sur toute son étendue, les deux sections étant réunies ; on trouve alors comme prix de revient kilométrique sur ce chapitre 1029 fr. 87 représentant :

Dépôts pour 8 machines, avec fosses à piquer le feu et dortoirs pour les mécaniciens.

Remises pour 14 voitures.

Atelier et halle de réparations occupant une surface de 400 mètres carrés.

Magasins occupant une surface couverte de 80 mètres carrés et un parc découvert de 360 mètres carrés.

Le prix moyen du mètre carré de dépôt de machines, y compris fosses à piquer le feu, a été de 49 fr. 50.

Le mètre superficiel de remise à voitures est revenu à 33 fr. 25 et celui du magasin couvert, y compris les installations de casiers et rayons à 42 francs.

Matériel fixe. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Les disques de protection des gares sont d'un type très léger, analogue à celui de la Compagnie du Nord. Ils sont manœuvrés par un seul fil, avec contrepoids dans le milieu de la transmission et fonctionnent très bien en nécessitant peu d'entretien.

Ils ont été payés 820 francs l'un, y compris appareils, fils, poulies, supports et pose.

Sur cette section, il a été établi seulement trois grues de levage, une de six tonnes et deux de trois tonnes. Il avait été également acheté une grue roulante de quatre tonnes.

La grue de six tonnes avait été payée 5,505 francs, maçonnerie d'installation non comprise ; et celles de trois tonnes 3,665 francs chaque. Le prix de la grue roulante avait été de 7,500 francs.

Il n'avait été établi qu'un pont à bascule de 15 tonnes à Fougères, payé à raison de 2,500 francs, maçonneries non comprises.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Les disques-signaux et appareils de manœuvre installés sur cette section sont d'un type très simple, mais qui n'est pas à imiter. La manœuvre se fait au moyen de deux fils, ce qui demande beaucoup de soins et d'entretien, et ils fonctionnent généralement mal.

En place, toutes dépenses comprises, ils ont été payés 725 francs chaque.

Il a été établi trois grues de six tonnes, ayant coûté, maçonneries non comprises, 5,620 francs chaque.

Les maçonneries de chacune de ces grues sont revenues en moyenne à 1,630 francs.

Il y a quatre ponts à bascule de 20 tonnes, dont un avec appareil de calage pour permettre le passage des locomotives. Ils ont été payés en moyenne 1,820 francs l'un, tout montés, maçonneries de fondations et cadres en bois à la charge de la Compagnie.

Ces maçonneries, avec le cadre, sont revenues en moyenne à 856 francs, pour chaque pont.

Une installation complète d'une grue de six tonnes a donc coûté en moyenne 7,250 francs, et celle d'un pont à bascule de 20 tonnes, 2,676 francs.

MATÉRIEL D'EXPLOITATION.

Les dépenses relatives au *Matériel d'exploitation* se répartissent de la façon suivante :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES.		SECTION DE FOUGÈRES-MOIDREY.	
	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Locomotives	83.087 93	2.245 62	130.140 00	2.957 73
Matériel grande vitesse	62.285 67	1.683 40	137.602 10	3.127 32
Matériel petite vitesse	39.780 00	1.075 33	343.395 85	7.804 45
Outillage de l'atelier	22.339 65	603 77	21.213 98	482 14
Approvisionnements divers	7.613 57	205 77	31.071 42	706 17
Mobilier et matériel des stations	13.619 96	368 11	14.812 69	336 65
Matériel de télégraphie	4.376 15	118 27	9.149 46	207 94
Petit matériel et outillage de la voie	5.366 29	145 04	10.621 41	241 40
Total	238.469 22	6 445 31	698.006 91	15.863 80

Les dépenses *Locomotives*, comprennent : prix de revient des locomotives, avec leur outillage, crics, vérins, signaux, etc.

Les dépenses *Matériel grande vitesse*, comprennent : prix de revient des voitures à voyageurs et fourgons à bagages.

Les dépenses *Matériel petite vitesse*, comprennent : wagons à marchandises de toutes espèces.

Les dépenses *Outillage de l'atelier*, comprennent : machines-outils, moteur de l'atelier, installations diverses des machines-outils et des engins de l'atelier, outillage de l'atelier, etc., etc.

Les dépenses *Approvisionnements*, comprennent : pièces de rechange de toutes sortes.

Les dépenses *Mobilier et matériel des stations*, comprennent : mobilier et aménagements intérieurs des gares, appareils d'éclairage et signaux des gares et des trains, petites bascules de halles, agrès divers, bâches, prolonges, anspecks, ponts de chargements, etc.

Les dépenses *Matériel de télégraphie*, comprennent : appareils des stations, fils, pose et installations, les poteaux appartenant à l'État.

Les dépenses *Petit matériel et outillage de la voie*, comprennent : lorrys, pinces à riper, battes, marteaux, jeux de nivelettes, règles d'écartement, outils divers, lanternes et signaux, etc.

Locomotives. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Pour l'exploitation de cette section, il n'y avait que trois locomotives-tenders d'un type tout spécial, à quatre roues couplées, dont nous dirons quelques mots plus loin.

Elles avaient été achetées au prix ferme de 30,000 francs chaque, prêtes à fonctionner, mais par suite de retard dans la livraison, le constructeur dut subir une retenue et elles ne sont, en réalité, revenues à la Compagnie qu'à 27,174 fr. 04 l'une.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Les locomotives-tenders à six roues couplées qui furent achetées pour cette section, sont à mouvement extérieur du type de la Compagnie de Fives-Lille. Elles ont été payées 43,000 francs chaque.

Matériel grande vitesse. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Le matériel grande vitesse se composait de :

4 fourgons à bagages, ayant coûté chacun 3,460 francs.

2 voitures mixtes à impériales couvertes, ayant 72 places dispo-

nibles (10 places 1re classe, 10 places 2e classe, 52 places 3e classe), et ayant coûté chacune 8,500 francs.

2 voitures mixtes, à 40 places (10 places 1re classe, 10 places 2e classe, 20 places 3e classe), ayant coûté chacune 7,200 francs.

3 voitures de 3e classe de 50 places, avec freins et guérites, ayant coûté chacune 5,325 francs.

2e *Section de Fougères à Moidrey.* — Le matériel grande vitesse qui fut acheté pour cette section se composait de :

6 fourgons à bagages, ayant coûté chacun 4,650 francs et 4,975 fr., selon les marchés.

5 voitures mixtes, 1re et 2e classes (20 places 1re classe, 20 places 2e classe), ayant coûté chacune 8,800 francs et 9,416 francs, selon les marchés.

2 voitures mixtes, 2e et 3e classe (20 places 2e classe, 30 places 3e classe), avec freins et guérites, ayant coûté chacune 7,490 francs.

7 voitures de 3e classe de 50 places avec freins et guérites, ayant coûté chacune 5,800 francs et 6,200 francs, selon les marchés.

Matériel wagons à marchandises. — 1e *Section de Vitré à Fougères.* — Sur cette section le matériel wagons était rudimentaire, les transports intérieurs étant à peu près nuls, et tout le trafic se trouvant être en provenance ou à destination de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, celle-ci laissait son matériel chargé passer sur la ligne de Vitré-Fougères, suivant un tarif de location, ou même lui passait du matériel vide pour les expéditions qui devaient ensuite emprunter ses voies.

Le matériel se réduisait donc à :

6 wagons couverts de 8 tonnes de chargement, ayant coûté chacun 2,700 francs.

2 wagons couverts de 8 tonnes à freins, ayant coûté chacun 3,100 fr.

4 wagons plats à côtés tombants de 10 tonnes de chargement, ayant coûté chacun 2,135 francs.

4 wagons tombereaux de 10 tonnes de chargement, ayant coûté chacun 2,210 francs.

En fait, c'est au détriment de l'exploitation que ce matériel avait pu être ainsi réduit, puisqu'il fallait en louer à une Compagnie étrangère pour assurer le service des transports.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Le trafic intérieur devant être plus considérable par suite de l'ouverture de cette section, on a dû se pourvoir de matériel de petite vitesse dans une plus forte proportion. Le matériel acheté a été de :

10 wagons couverts de 10 tonnes de chargement, ayant coûté l'un, 3,600 et 3,852 francs, selon les marchés.
8 wagons couverts de 10 tonnes à freins, ayant coûté l'un, 4,100 et 4,387 francs, selon les marchés.
10 wagons tombereaux de 10 tonnes, ayant coûté chacun 3,000 francs.
3 wagons tombereaux de 10 tonnes à freins à vis, ayant coûté chacun 3,605 francs.
3 wagons tombereaux de 10 tonnes à freins à main, ayant coûté chacun 3,313 francs.
38 wagons plats, à côtés tombants, de 10 tonnes de chargement, ayant coûté l'un, 2,135 et 2,889 francs, selon les marchés.
12 wagons plats, à côtés tombants, de 10 tonnes et à freins, ayant coûté chacun 3,391 francs.
25 wagons plats, hauts bords, de 10 tonnes, ayant coûté chacun 2,900 francs.

Outillage de l'atelier. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Pour cette section, l'outillage se composait de :

Une machine demi-fixe de deux chevaux, comme moteur d'atelier.
Une petite machine à percer.
Deux tours dont l'un à fileter, avec leurs transmissions.
Une forge à un feu avec son outillage.
Deux étaux avec l'outillage de deux ajusteurs, un marbre et une grosse meule.

C'était insuffisant, car on était obligé de faire faire toutes les grosses réparations à l'extérieur.

2° *Section de Fougères-Moidrey.* — Lors de l'ouverture de cette section, les dispositions de l'atelier furent complètement modifiées et l'outillage fut augmenté et complété par :

Un tour à roues de locomotives et wagons, de 800 millimètres de hauteur de pointes, avec ses transmissions et ses accessoires.

Un étau limeur à deux tables de 400 millimètres de course.

Une deuxième forge avec son outillage.

Un ventilateur pour six feux.

Une installation complète pour l'embattage et le désembattage des bandages.

Un outillage de petite chaudronnerie.

Un outillage de menuisier.

Trois étaux avec l'outillage de plusieurs ajusteurs.

C'est encore insuffisant dans bien des cas.

Le dépôt de Fougères est de plus pourvu d'une installation de six bascules Erhardt pour le réglage des ressorts de locomotives.

Nota. — Ce n'est qu'en réunissant l'outillage des deux sections que l'on peut juger de l'ensemble des installations qui, pour la section entière de Vitré à Moidrey, 81 kilomètres, représente 537 fr. 70 par kilomètre. Pour être complet, il aurait fallu que les dépenses eussent été d'environ 700 francs par kilomètre.

Approvisionnements divers. — 1° *Section de Vitré-Fougères.* — Les pièces de rechange et les approvisionnements divers livrés par le service de la construction à celui de l'exploitation ayant à peu près fait défaut sur cette section, on ne peut en parler que pour « mémoire. »

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Pour cette section, lors de la construction, on fit des approvisionnements plus complets qui furent même payés très cher, à cause de l'augmentation des matières premières à cette époque; ces approvisionnements étaient de plus trop considérables pour certaines pièces, car, ces dépenses sont pour ainsi dire accessoires et devraient plutôt être considérées comme des dépenses d'exploitation.

Mobilier et matériel des stations. — *Sections de Vitré à Fougères et de Fougères à Moidrey.* — Le mobilier et matériel des stations étant le même sur les deux sections, il n'y a pas lieu de faire de distinction au point de vue des dépenses.

Le mobilier des gares est aussi restreint que possible; la Compagnie est propriétaire de ses bâches et prolonges, qu'elle fait entretenir directement. L'éclairage a lieu à l'huile de colza, sauf dans les gares de Fougères et Vitré qui sont éclairées au gaz.

Matériel de télégraphie. — *Sections de Vitré à Fougères et de Fougères à Moidrey.* — Ainsi qu'on l'a vu, la Compagnie a eu seulement à supporter les frais de pose du fil et des appareils qui sont sa propriété, les poteaux étant fournis par l'État.

Les appareils sont à cadran du système Vinay. Les piles sont du type Leclanché.

Petit matériel du service de la voie. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Le matériel d'entretien était, dans le début, très restreint et les mêmes outils servaient à plusieurs équipes. Depuis l'ouverture de la section de Fougères-Moidrey, les deux sections ayant été confondues, on fit une répartition générale des outils, mais comme Fougères-Moidrey était mieux approvisionnée, c'est en fait au détriment de cette seconde section que se compléta le matériel de la première.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — Sur cette section, les achats de matériel et d'outillage furent plus considérables, et, ainsi qu'on vient de le voir, une partie de ce matériel put même être reversée sur celle de Vitré-Fougères. C'est ce qui explique la proportion plus élevée des dépenses, cette augmentation étant due également à la plus-value très notable des fers au moment de la mise en exploitation de la section Fougères-Moidrey.

FRAIS ACCESSOIRES DE CONSTRUCTION.

Les *frais accessoires de la construction* se sont répartis de la façon suivante :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES.		SECTION DE FOUGÈRES A MOIDREY.	
	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Frais d'escompte des subventions	192.301 38	5.197 33	781.587 66	17.763 35
Intérêts des actions et obligations pendant la construction	120.709 61	3.262 42	201.963 28	4.590 07
Pertes sur l'exploitation provisoire	58.081 22	1.569 76	119.621 97	2.718 68
Total	371.092 21	10.029 51	1.103.172 91	25.072 10

Les dépenses *Frais d'escompte des subventions* représentent la

différence entre les sommes encaissées par la Compagnie, et le montant total des subventions qu'il a fallu escompter afin d'avoir des fonds pour commencer les travaux à brève échéance.

Les dépenses *Intérêts des actions et obligations* comprennent la totalité des intérêts payés pendant la construction jusqu'à la mise en exploitation définitive, ainsi que le portent les Statuts de la Société.

Les dépenses *Pertes sur l'exploitation provisoire* représentent l'excédant des dépenses sur les recettes du trafic, jusqu'au jour de la mise en exploitation définitive.

Frais d'escompte des subventions. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Pour cette section les subventions se sont élevées à 1.401.600 francs ; — 800.000 francs de l'État et 601.600 francs du département et des communes. — Sur cette somme la Compagnie n'a encaissé en réalité que 1.209.298 fr. 62 et a subi par conséquent une perte de 192.301 fr. 38, soit 13,7 pour 100 du montant total des subventions.

2° *Section de Fougères-Moidrey.* — Pour cette section la subvention de l'État a été de 3.500.000 francs, payable en seize termes semestriels égaux.

La Compagnie obligée de se procurer immédiatement les fonds nécessaires à la construction n'a pu, en fait, encaisser que 2.786.412 fr. 69, et a perdu par conséquent 763.587 fr. 31, soit 21,8 pour 100 de la subvention totale.

Cette proportion de frais très élevée est due en partie aux événements de 1870 qui ont rendu très onéreuse pour la Compagnie la réalisation des capitaux.

Aux dépenses de ce chapitre on a ajouté une somme de 18.000 fr, 35 représentant le montant des impôts sur les titres.

Intérêts des actions et obligations pendant la construction. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — La concession est du 30 août 1865. La Société anonyme pour l'exploitation de la concession a été fondée le 18 avril 1866, la ligne a pu être ouverte le 6 octobre 1867, et l'exploitation définitive a commencé le 1er avril 1868. Grâce à cette rapidité de construction, les frais d'intérêts ont pu être très réduits et pour ainsi dire insignifiants : (3262f,42 par kilomètre),

ce qui montre bien quels résultats on peut obtenir dans une affaire loyalement administrée en dehors de toute idée de spéculation financière.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — La concession est du 26 juillet 1868. L'utilité publique en fut déclarée le 22 décembre 1869. Malgré les événements de 1870-1871 qui interrompirent les travaux, la première partie de la section sur 18 kilomètres a été ouverte le 1er janvier 1872 et la section entière le 1er octobre de la même année. L'exploitation définitive a commencé le 1er octobre 1873. Les frais d'intérêts (4590f,07 par kilomètre) ont été un peu plus élevés sur cette section que sur Vitré-Fougères, parce que les dépenses d'établissement ont été plus considérables et que les travaux ont été retardés par la guerre. Ces frais malgré cela sont encore bien réduits.

Exploitation provisoire. — 1° *Section de Vitré à Fougères.* — Ainsi qu'on vient de le voir, la période d'exploitation provisoire ne s'est étendue que du 6 octobre 1867 au 1er avril 1868, et encore, n'est-ce en réalité que le 1er janvier 1868 qu'un service régulier a été organisé sur cette section.

Les insuffisances de recettes par rapport aux dépenses ont été pendant cette période de 1,569 fr. 76 par kilomètre, chiffre élevé pour un laps de temps aussi court, et qui est dû principalement à de nombreuses dépenses contentieuses occasionnées par l'irrégularité du service dans cette première période d'exploitation, ainsi qu'à des frais d'entretien de voie plus élevés par suite de l'ouverture un peu prématurée de cette section.

2° *Section de Fougères à Moidrey.* — L'exploitation provisoire a duré du 1er janvier 1872 au 1er octobre 1873 pour 18 kilomètres, et du 1er octobre 1872 au 1er octobre 1873 pour le reste de la section.

L'insuffisance des recettes par rapport aux dépenses 2,718 fr. 68 par kilomètre proportionnellement moins élevée que pour l'exploitation provisoire de Vitré à Fougères est due à la plus-value très considérable des combustibles pendant cette période et, comme pour Vitré-Fougères, à des frais d'entretien considérables d'une voie trop neuve, sur laquelle des tassements se produisaient.

Nota. Si nous examinons l'ensemble de ces frais accessoires de construction sur les deux sections de Vitré à Fougères et de Fougères

à Moidrey, nous les trouvons de 10,029 fr. 51 par kilomètre pour la première et de 25,072 fr. 10 pour la deuxième.

Nous croyons devoir appeler d'autant plus l'attention sur ces résultats, que l'on a vu dans ces derniers temps, des sommes de 100, 150,000 fr. et plus, par kilomètre, portées comme frais accessoires, au compte de premier établissement de lignes secondaires d'intérêt général, que l'État a dû racheter pour les sauver de la faillite. — Ces Compagnies, guidées surtout par la spéculation financière, loin de chercher à réduire les périodes de construction et d'exploitation provisoires, les prolongeaient au contraire par tous les moyens possibles, et ont ainsi précipité leur ruine.

CONCLUSIONS.

Résumant les différentes dépenses auxquelles a donné lieu la construction des deux sections que nous venons d'étudier, on arrive aux résultats généraux suivants :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES.		SECTION DE FOUGÈRES A MOIDREY.	
	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par kilomètre.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Frais généraux.......	223.899 44	6.051 34	288.545 82	6.557 86
Infrastructure........	1.155.624 94	31.233 11	1.721.930 13	39.134 77
Superstructure.	1.329.687 86	35.937 51	1.829.661 02	41.583 21
Matériel d'exploitation.	238.469 22	6.445 31	698.006 91	15.863 80
Frais accessoires......	371.092 21	10.029 51	1.103.172 91	25.072 10
Total.......	3.318 773 67[1]	89.696 78	5.641.316 79[1]	128.211 74

1. *Nota.* — Le bilan du compte de premier établissement de la ligne entière arrêté au 31 décembre 1876, présente, par rapport aux chiffres donnés ci-dessus, un excédant des dépenses de 148,493 fr. 25. Cet excédant représente les frais du renouvellement général des traverses sur Vitré à Fougères, qui, par décision de l'assemblée générale des actionnaires du 26 mai 1873, ont été portés au compte de premier établissement, comme dépenses complémentaires de construction.

La première conclusion à tirer de ces chiffres est, qu'abstraction faite des frais accessoires d'escomptes et d'intérêts, qui n'ont qu'un rapport indirect avec les frais de construction d'un chemin de fer, on trouve que la section de Vitré-Fougères a coûté en fait, 79,667 fr. 27 par kilomètre ; et celle de Fougères-Moidrey 103,139 fr. 64 par kilomètre.

Ces chiffres représentent les dépenses de construction proprement dites, y compris frais généraux et matériel complet d'exploitation.

Si nous décomposons ensuite ces dépenses de construction et de matériel en *Infrastructure*, *Superstructure*, *Matériel d'exploitation* en répartissant les dépenses *Frais généraux*, entre ces trois principaux groupes de dépenses, on arrive aux résultats suivants :

DÉSIGNATION.	SECTION DE VITRÉ A FOUGÈRES. Dépenses par kilomètre.			SECTION DE FOUGÈRES A MOIDREY. Dépenses par kilomètre.		
Dépenses d'infrastructure.....	31.233f 11			39.134f 77		
Part de frais généraux, afférente à l'infrastructure..........	2.565 77	33.798f 88		2.655 93	41.790f 70	
Dépenses de superstructure....	35.937 51			41.583 21		
Part de frais généraux, afférente à la superstructure.........	2.959 10	38.896 61	72.695f 49	2.826 44	44.409 65	86.200f 35
Dépenses de matériel d'exploitation....................	6.445 81			15.863 80		
Part de frais généraux, afférente au matériel d'exploitation....	526 47	6.971 78	6.971 78	1.075 49	16.939 29	16.939 29
			79.667 27			103.139 64

Voilà donc en résumé deux lignes exécutées dans un pays accidenté, et ayant nécessité la construction de plusieurs travaux d'art importants, qui, déduction faite des frais accessoires de réalisation et intérêts des capitaux, et déduction faite également du matériel d'exploitation proprement dit, ont coûté en réalité, par kilomètre, en travaux d'infra et de superstructure, l'une 72,695 fr. 49, l'autre 86,200 fr. 35.

Nous ne dirons pas évidemment, que ces deux lignes puissent être citées comme modèles et qu'elles ne puissent être critiquées à bien des points de vue, mais en fait, elles fonctionnent dans de très bonnes conditions depuis des années, et il eût suffi de dépenser quelques milliers de francs de plus par kilomètre, pour en faire des lignes excellentes, pouvant parfaitement suffire à un trafic de 10 à 15,000 fr. de recettes brutes par an et par kilomètre.

On est loin, comme on le voit, des chiffres de 150 à 200,000 fr. par kilomètre indiqués comme nécessaires pour l'exécution du réseau complémentaire de nos chemins de fer. Mais, il est très certain, que

des constructions aussi économiques ne peuvent être réalisées que par les Compagnies intéressées aux bénéfices de l'entreprise, et que des résultats de ce genre pourront être difficilement obtenus par l'État construisant directement. En se chargeant lui-même de l'exécution, l'État livrera peut-être des lignes plus finies, plus soignées, plus grandioses, mais qui coûteront aussi beaucoup plus cher, sans que, par la suite, l'exploitation en soit plus facile, et sans que le commerce ou le pays en retirent plus d'avantages que de lignes établies plus économiquement.

Évidemment, de grands abus financiers ont été commis par certaines Compagnies, dans l'établissement des chemins de fer secondaires, et, à ce point de vue, la construction du réseau complémentaire d'intérêt général, pour *le compte* de l'État, nous paraît être un grand progrès; mais nous croyons, par contre, que la construction directe par l'État, en dehors de tout concours de Compagnies intéressées aux économies à réaliser, et qui seraient plus tard chargées de l'entretien et de l'exploitation des lignes qu'elles auraient construites, conduira aux mêmes mécomptes que ceux qu'amènerait l'exploitation des chemins de fer par l'État, si elle venait jamais à être mise en pratique.

DEUXIÈME PARTIE

EXPLOITATION.

L'exploitation générale a été répartie entre quatre services principaux :

Administration centrale et frais généraux ;
Mouvement et service des gares ;
Traction et matériel roulant ;
Voie et matériel fixe.

Nous examinerons séparément chacun de ces différents services pour la ligne entière, 81 kilomètres, tant au point de vue de leur organisation, que des dépenses qu'ils nécessitent, en étudiant en même temps les principales questions d'entretien que soulève l'exploitation d'une ligne à faible trafic et à profil et tracé accidentés.

ADMINISTRATION CENTRALE ET FRAIS GÉNÉRAUX.

Le Conseil d'administration a son siège à Paris, où sont également installés les services généraux de la comptabilité et du contrôle.

Un directeur de l'exploitation, ayant le titre d'ingénieur chef de l'exploitation, centralise tous les services techniques et sert ainsi d'intermédiaire entre le Conseil d'administration et les différents services de l'exploitation. Il est en même temps chargé de la direction de tous les travaux de construction qu'il peut y avoir à entreprendre.

Un secrétaire général est adjoint au Conseil d'administration, et la comptabilité est placée sous les ordres d'un chef de la comptabilité générale et du contrôle.

La caisse centrale est à Paris. Tous les autres chefs de service sont à Fougères.

Les dépenses de cette administration centrale se sont réparties de la façon suivante pendant les quatre dernières années :

DÉSIGNATION.	1874.		1875.		1876.		1877.	
	Dépenses par kilom. exploité.	Dépenses par train kilom.	Dépenses par kilom. exploité.	Dépenses par train kilom.	Dépenses par kilom. exploité.	Dépenses par train kilom.	Dépenses par kilom. exploité.	Dépenses par train kilom.
Frais de conseil d'administration, jetons de présence, ingénieur-chef de l'exploitation, déplacements, etc..	245f 33	0f,107	107f 20	0f,047	259f 13	0f,113	248f 71	0f,108
Frais de personnel du secrétariat général, de la comptabilité et du contrôle, caissier central, garçons de bureaux, garde-magasin, etc.	330 00	0 ,144	312 80	0 ,138	319 60	0 ,140	332 55	0 ,145
Frais divers, loyers, chauffage et éclairage des bureaux, imprimés, frais de bureau, etc.	102 01	0 ,046	100 94	0 ,045	85 20	0 ,038	75 67	0 ,034
Dépenses contentieuses, indemnités, etc.........	14 76	0 ,006	30 72	0 ,013	19 06	0 ,008	22 92	0 ,010
Total..........	692 10	0 ,303	551 66	0 ,243	682 99	0 ,299	679 85	0 ,297

Les variations de ces dépenses sont si peu sensibles d'une année à l'autre que nous ne nous y arrêterons pas, mais nous ferons seulement remarquer que la diminution des frais généraux en 1875 est due au désintéressement du Conseil d'administration qui, afin de ne pas augmenter les charges de la Compagnie, fit généreusement l'abandon de ses jetons de présence, abnégation qu'on ne saurait trop louer.

MOUVEMENT ET SERVICE DES GARES.

Cette partie du service de l'exploitation comprenant : *Mouvement*, *Service et personnel des gares*, *Trafic et service commercial*, est placée sous les ordres d'un chef de service spécial qui centralise en même temps comme caissier à Fougères les recettes de la Compagnie, et auquel est adjoint un agent pouvant faire au besoin les suppléances de chef de gare.

Ce chef de service est agent spécial de la voie unique, et remplit en même temps les fonctions d'inspecteur commercial de l'exploitation.

Mouvement. — Il n'y a que trois trains mixtes réguliers par jour et dans chaque sens.

La longueur de la ligne ne permettant pas le service dit de « navette, » mais n'exigeant pas cependant, d'avoir plus de deux trains réguliers en marche à la fois, le service de conduite peut être assuré par un personnel de cinq conducteurs seulement. Chaque jour il y en a quatre en service et le cinquième est de réserve. Des hommes d'équipe des gares sont adjoints comme garde-freins supplémentaires quand cela est nécessaire, et c'est le conducteur de réserve qui est chargé de la conduite des trains facultatifs quand les besoins du service exigent qu'on en fasse circuler.

Ainsi qu'on le verra du reste par le tableau des dépenses, ce n'est que progressivement qu'on a pu arriver à cette extrême réduction de personnel des trains.

Le traitement des conducteurs varie de 13 à 1500 francs; ils ont 1 fr. 25 d'indemnité par nuit qu'ils passent en dehors de leur lieu de résidence habituelle.

Service des gares. — Le personnel des gares est également aussi restreint que possible.

Dans les garages où les recettes, tant en arrivages qu'expéditions, ne dépassent pas 20,000 francs par an, et où les grosses manutentions peuvent être faites par le commerce, il n'y a qu'un chef de garage. Les aiguilles de tête sont cadenassées et les leviers de manœuvre des signaux, placés à proximité du bâtiment de la gare, sont manœuvrés par le chef de garage.

Dans les garages plus importants, où le trafic dépasse 20,000 francs par an, arrivages et expéditions réunis, un homme d'équipe est attaché au garage.

Les stations où le trafic, arrivages et expéditions réunis, dépasse 50,000 francs, ont un personnel un peu plus complet qui se compose d'un chef de gare, d'un facteur enregistrant ou employé de bureau et de deux hommes d'équipe.

La gare de transit de Vitré et celle très importante de Fougères ont seules, un personnel plus complet de bureaux grande et petite vitesse, ainsi qu'un plus grand nombre d'hommes d'équipe.

Lorsque, par suite de circonstances imprévues, les gares viennent à manquer de personnel hommes d'équipe, le service de la voie, lorsque

les travaux d'entretien le permettent, met des hommes à la disposition de l'exploitation, afin d'éviter autant que possible de prendre des supplémentaires.

Les chefs de gare sont logés, éclairés, chauffés.

Les traitements des chefs de garages varient de 1200 à 1400 francs.

Ceux des chefs de gare de 1500 à 2200 francs.

Les facteurs ou employés de bureau ont des appointements variant de 1080 à 1600 francs.

Les hommes d'équipe sont payés 840 et 900 francs. Les chefs d'équipe et préposés 1000 à 1200 francs.

Tous les agents de l'exploitation subissent une retenue pour habillement, la Compagnie ayant des fournisseurs attitrés avec lesquels elle règle directement. Le surplus des retenues mensuelles est restitué aux agents en fin d'année.

La Compagnie fournit gratuitement à tous ses agents les soins médicaux ainsi que les médicaments.

Pendant les quatre années 1874-75-76-77, les dépenses se sont réparties de la façon suivante pour le service des gares et du mouvement :

MOUVEMENT ET SERVICE DES GARES.

DÉSIGNATION.	1874.			1875.			1876.			1877.		
	Dépenses			Dépenses			Dépenses			Dépenses		
	par kilom.	par train kilom.	par tonne utile kilom.	par kilom.	par train kilom.	par tonne utile kilom.	par kilom.	par train kilom.	par tonne utile kilom.	par kilom.	par train kilom.	par tonne utile kilom.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Service central......... Chef de service et bureau du chef de service, déplacements, service médical, etc.	75 66	0,0332	0,00182	77 33	0,0341	0,00183	77 21	0,0338	0,00165	84 15	0,0367	0,00172
Service des trains....... Personnel des conducteurs, déplacements.	120 18	0,0527	0,00287	111 33	0,0491	0,00266	102 60	0,0449	0,00219	93 70	0,0409	0,00192
Service des gares....... Personnel des gares et personnel auxiliaire.	705 74	0,3097	0,01687	683 13	0,3012	0,01624	686 00	0,3007	0,01462	704 28	0,3075	0,01444
Frais divers............ Entretien du matériel des gares, bâches, agrès divers, éclairage et chauffage des gares, éclairage des trains, télégraphie, imprimés, frais de bureau, etc.	161 95	0,0714	0,00384	191 68	0,0846	0,00456	208 34	0,0926	0,00449	245 02	0,1069	0,00502
Total.........	1063 53	0,4670	0,02540	1063 47	0,4690	0,02529	1076 15	0,4720	0,02295	1127 15	0,4920	0,02310

Ainsi qu'on le voit, les dépenses du service central ont toujours été en augmentant depuis 1874, ce qui est dû à la nécessité d'augmenter les traitements des agents, dont le service devenait tous les jours plus chargé. Les dépenses de 1877 peuvent du reste être considérées comme un maximum, à cause des frais extraordinaires qui ont dû être faits à ce moment, à l'occasion d'un mouvement exceptionnel de voyageurs, se rendant au Mont Saint-Michel.

Les dépenses relatives au service des trains ont au contraire diminué d'une façon constante dans cette période de quatre années et sont arrivées à un minimum en 1877, grâce au roulement organisé pour le service des conducteurs dont nous avons parlé plus haut.

Le personnel du service des gares, qui avait pu être quelque peu réduit pendant les années 1875 et 1876, a dû être augmenté en 1877 par suite des exigences du trafic, mais on peut constater du reste que les frais de ce personnel ont toujours été en décroissant par rapport à la tonne utile transportée à un kilomètre.

Les frais divers ont toujours été en augmentant, ce qui est naturel, l'entretien et le renouvellement du matériel devenant de jour en jour plus considérables.

En résumé, les dépenses du service de l'exploitation commerciale se sont augmentées en proportion de l'accroissement du trafic, en restant très restreintes, sans toutefois que la régularité du service ait à en souffrir.

VOIE ET MATÉRIEL FIXE.

Ainsi qu'on l'a vu en s'occupant des conditions techniques d'établissement, la voie est en rails Vignole en fer de 30 kilogrammes le mètre sur Vitré-Fougères, et de 35 kilogrammes sur Fougères-Moidrey.

Les traverses en chêne sont espacées en moyenne de un mètre d'axe en axe. Sauf dans les courbes de 250 et 300 mètres de rayon ou sur Vitré-Fougères, l'écartement moyen a été réduit à $0^m,85$. On a dû renoncer sur cette dernière section à l'emploi de boulons de 16 millimètres avec écrous à 6 pans, à cause de la difficulté du serrage et de la faiblesse du corps des boulons, qui se cisaillaient constamment ; on les a remplacés par des boulons de 17 millimètres avec écrous à têtes carrées. On a dû également renoncer à l'emploi des crampons carrés

et pointus employés dans le principe; ces crampons ne tiennent pas dans les traverses et se renversent alors trop facilement sous les efforts latéraux auxquels la voie est soumise dans les courbes de faible rayon. On remplace au fur et à mesure des renouvellements ces crampons pointus par des crampons à section octogonale de 19 millimètres, type Paris-Lyon-Méditerranée, qui sont du reste les crampons employés pour la section de Fougères-Moidrey.

Dès 1873, c'est-à-dire au bout de cinq ans, on a déjà été obligé de faire un renouvellement général des traverses sur Vitré-Fougères, la voie, sur cette section, ayant été en très peu de temps disloquée par les machines plus lourdes et les trains plus longs qui y circulaient depuis le prolongement de la ligne au delà de Fougères. Les traverses n'étaient pas, il est vrai, de première qualité, mais leur usure si rapide était due en grande partie à la mauvaise qualité du ballast et aussi à la flexibilité et au peu d'assiette de la voie Vignole de 30 kilogrammes.

Dans les alignements, la voie se tient encore assez bien, mais dans les courbes de faible rayon et surtout dans celles qui sont en pentes ou rampes, la dislocation de la voie est très rapide.

Comme dans les pentes, la vitesse des trains atteint normalement 40 à 45 kilomètres à l'heure, on avait, dans le début, donné aux courbes de 250 et 300 mètres de rayon des dévers de 13 et 12 centimètres. Ce dévers était trop considérable et, lors du renouvellement, on s'aperçut que c'était sous le rail intérieur que les traverses étaient le plus fatiguées. En effet, la plupart des courbes coïncidant avec des déclivités plus ou moins fortes, comme on est en voie unique, les trains ont des vitesses très différentes suivant le sens de leur marche. A la descente, les trains allant très vite, c'est le rail extérieur qui, sous l'action de la force centrifuge, supporte un effort latéral qui tend à le déverser mais qui est en partie annulé par le dévers donné à la voie, surtout si celui-ci est assez notable; au contraire, à la montée, les trains allant beaucoup moins vite, l'effet de la force centrifuge est très atténué; les boudins des roues viennent alors, par suite du dévers, porter sur le rail intérieur, qui se trouve d'autant plus fatigué qu'à cette action de la pesanteur, vient s'ajouter l'effort latéral résultant de la traction, qui tend également à faire porter les roues du train contre le rail intérieur.

Plus le dévers est accentué et la rampe prononcée, plus ces actions sont considérables.

On a donc réduit le dévers à un maximum de $0^m,08$ centimètres pour les courbes de 250 et 300 mètres de rayon. Le rail extérieur fatigue plus, il est vrai, à la descente, mais le rail intérieur supporte des efforts moins considérables à la montée des trains, et la voie est plus solide.

On a dû néanmoins augmenter le nombre des traverses dans les courbes de 250 à 300 mètres, qui coïncident avec des pentes ou rampes de 12 à 15 millimètres, doubler le nombre des crampons et en arriver enfin à mettre des selles en fer pour protéger les traverses, qui, en très peu de temps, étaient hachées au droit du sabotage, surtout avec les rails de 30 kilogrammes, qui ont un patin moins large et fléchissant davantage au passage des trains.

Ces phénomènes de dislocation rapide des voies par l'écrasement du sabotage des traverses, quoique moins sensible sur la section de Fougères-Moidrey où les rails sont plus lourds, moins flexibles et surtout les courbes moins prononcées, se font déjà sentir dès maintenant, c'est-à-dire après cinq ans de service, et occasionnent des renouvellements des traverses déjà importants, étant donné surtout le petit nombre des trains en circulation (trois par jour dans chaque sens.)

Sur les lignes à voie unique, où l'on rencontre des courbes de petits rayons et de fortes déclivités, même si le trafic doit y être peu important, il y a donc lieu, si l'on emploie le rail Vignole, d'augmenter, autant que possible, la surface de pose des rails sur les traverses, même quand elles sont en chêne, et cela principalement dans les courbes coïncidant avec des déclivités.

Depuis 1878, on a dû faire sur la section de Vitré à Fougères des renouvellements de rails plus sérieux et, par suite de la difficulté de se procurer des rails en fer de bonne qualité, la Compagnie s'est décidée à faire désormais tous ses renouvellements en rails d'acier de 30 kilogrammes, posés sur selles en fer dans les courbes, avec joints en porte à faux et neuf traverses par longueur de huit mètres.

On a commencé par renouveler toutes les courbes de 250 mètres de rayon, puis les plus mauvaises courbes de 300 mètres de rayon, et les rails en fer, sortant de ces courbes et pouvant être encore utilisés, sont triés et servent aux renouvellements partiels de la voie. On pourra donc, en faisant ainsi des renouvellements successifs, éviter de se lancer dans les grosses dépenses d'un renouvellement général.

Ainsi qu'on l'a vu, dès 1873 on avait dû faire un renouvellement en grand des traverses sur Vitré à Fougères, en en laissant seulement une

vieille sur sept dans les courbes, et deux sur six dans les alignements. Ce renouvellement de traverses avait coûté 4,013 fr. 33 par kilomètre, y compris les traverses, main-d'œuvre et autres frais. Dans ce prix, la main-d'œuvre entrait pour 1,770 francs par kilomètre.

Entretien et surveillance de la voie. — Le service de l'entretien et de la surveillance est fait par un personnel spécial placé sous la direction d'un chef de service, qui centralise également les travaux de construction.

La ligne entière de Vitré à Moidrey est divisée en deux districts de 40 kilomètres, placés chacun sous les ordres d'un piqueur. Le personnel, *ouvriers*, se compose de 14 équipes de quatre hommes (un chef d'équipe et trois poseurs), chargées chacune de l'entretien et de la surveillance de six kilomètres environ. Les deux équipes dans le canton desquelles sont situées les gares de Fougères et Vitré, ont un parcours un peu moins long, à cause de l'augmentation de travail résultant de l'entretien de ces deux gares.

Cela représente donc en moyenne un homme par 1,500 mètres de voie courante à entretenir. Dans un pays aussi humide que la Bretagne, il ne paraît pas possible de descendre au-dessous de cette proportion comme personnel, si l'on veut que l'entretien de la voie soit à peu près convenable.

Le service de la surveillance est assuré le matin et le soir par un homme de chacune des équipes, qui fait le parcours entier du canton auquel il est attaché, c'est-à-dire environ six kilomètres. Ce parcours de surveillance est fait, autant que possible, en dehors des heures de travail de l'équipe, de façon que, pendant toute la journée, l'équipe soit au complet.

Le service des passages à niveau est aussi dans les attributions du service de la voie.

Tous les passages situés en dehors des gares, ceux même qui ne sont pas munis de maisons de garde, sont gardés par des femmes, au moment du passage des trains. Ce sont, exclusivement, des femmes d'agents de la voie.

Pour les passages pourvus de maisons de garde, le gardiennage est fait également par des femmes, mais sans rémunération aucune de la Compagnie, le logement indemnisant le garde de son travail.

Pour les autres passages gardés, au nombre de 27, qui n'ont qu'une

simple guérite, il est alloué à la gardienne une indemnité de 200 francs par an, et nous devons constater que le service de ces passages à niveau est fait d'une façon très régulière, quoique les femmes qui les gardent ne soient pas à leur passage toute la journée, et habitent quelquefois fort loin du passage qu'elles ont à surveiller. Le service des passages situés aux abords des gares est fait par les agents de l'exploitation.

Les réparations de l'outillage des agents et du matériel de la voie se font à l'atelier de réparation de la Compagnie, qui exécute les travaux sur des bons de commandes et les facture ensuite au service de la voie.

Un petit atelier de menuiserie et de charronnage avec un ouvrier est chargé spécialement de toutes les réparations courantes à faire aux bâtiments, barrières, lorrys, etc., etc.

Le personnel de la voie vient en aide à l'exploitation dans les garages où il n'y a pas d'homme d'équipe, et toutes les fois, du reste, que par suite de circonstances exceptionnelles, le service de l'exploitation a besoin de renforts de personnel de manœuvres.

Il fait également les déchargements de combustible et autres manutentions du même genre, pour le compte du service de la traction et du magasin général.

Les chefs d'équipe sont payés 840 et 900 francs suivant leur classe, les hommes d'équipe 720 et 780 francs. Les heures supplémentaires sont payées 0 fr. 23.

Afin de donner une idée des frais de petit entretien courant, nous avons relevé les divers remplacements faits pendant ces deux dernières années sur la section de Fougères-Moidrey. La section de Vitré à Fougères étant beaucoup plus ancienne et ayant déjà subi des renouvellements en grand, ne pourrait servir d'exemple.

Fougères-Moidrey est en exploitation depuis 1872. Jusqu'en 1876, les renouvellements étant insignifiants, nous ne prenons les relevés qu'à partir de cette époque.

DÉSIGNATION.	1876.	1877.
Rails de 6m,00 par kilomètre et par an...	0r,70	0r,725
Boulons d'éclisses par kilomètre et par an..	1b,02	2b,325
Crampons par kilomètre et par an........	1c,85	2c,95
Traverses par kilomètre et par an........	0t,5	0t,925

Les relevés des six premiers mois de 1878 indiqueraient que les remplacements pendant l'année 1878 seront au moins doubles de ceux correspondants de 1877.

Les dépenses du service de la voie se sont réparties de la façon suivante pendant les années 1874, 1875, 1876, 1877.

DÉSIGNATION.	1874. Dépenses par kilom. de voie.	1875. Dépenses par kilom. de voie.	1876. Dépenses par kilom. de voie.	1877. Dépenses par kilom. de voie.
Service central. Chef de service, bureau du chef de service, frais de bureaux, déplacements, chauffage, éclairage, service médical, etc.	48f 48	51f 17	59f 94	62f 43
Personnel d'entretien et de surveillance. Piqueurs, personnel des équipes, gardiennage des passages à niveau, heures supplémentaires, déplacements, etc.	614 73	661 36	657 27	715 03
Petit entretien du matériel et de la voie. Pièces de rechange, petit entretien et entretien courant de la voie, entretien du matériel, outillage des équipes, etc.	18 14	13 44	23 88	41 82
Entretien des cours et bâtiments. Réparations diverses aux bâtiments, entretien des toitures, empierrement des cours et chemins d'accès, etc.	12 52	23 49	7 48	15 77
Dépenses totales	693 87	749 46	748 57	835 05

Les légères variations que l'on constate d'une année à l'autre dans les dépenses du service central et du personnel d'entretien de surveillance sont dues, en dehors de quelques augmentations de traitement, à ce que le service de la voie, exécutant beaucoup de travaux de parachèvement pour le service de la construction, et cela sans augmentation de personnel, le compte de construction en crédite à la fin de chaque année le compte de l'entretien, dont les dépenses sont diminuées d'autant.

Il faut donc compter sur une moyenne de 800 francs par kilomètre et par an pour frais généraux et personnel de la voie, si l'on veut obtenir un bon entretien d'une ligne analogue à celle que nous étudions.

Dans les dépenses d'entretien du tableau précédent, qui vont nécessai-

rement en s'augmentant d'une année à l'autre, ne sont pas comprises les quelques fournitures de rails et traverses qui ont été prises dans les dépôts laissés par la construction, mais qui ont eu jusqu'ici peu d'importance pour la section de Fougères-Moidrey, ainsi qu'on l'a vu plus haut.

En se basant sur les résultats d'expérience obtenus sur la section de Vitré-Fougères, qui est en exploitation depuis dix ans, on peut évaluer à environ 1000 ou 1200 francs par an, et par kilomètre les dépenses de renouvellement en grand des rails, traverses et ballast, à partir de la cinquième année d'exploitation, sur une ligne établie et exploitée comme celle de Fougères-Moidrey.

Ce n'est donc pas sur une dépense de 8 à 900 francs par kilomètre et par an, mais sur un chiffre de 1800 à 2000 francs par an et par kilomètre qu'il faudrait compter, à partir de la cinquième ou sixième année d'exploitation.

Ces dépenses de renouvellement sont, du reste, très variables suivant la manière dont la voie a été établie lors de la construction, et, en réalité, ce n'est jamais une économie d'établir des voies trop légères, qui sont détériorées en quelques années, surtout sur des lignes à profil accidenté où l'on est dans la nécessité d'employer des machines de plus en plus pesantes, et d'avoir des trains de plus en plus longs, à mesure de l'accroissement du trafic.

MATÉRIEL ROULANT ET TRACTION.

Locomotives. — En étudiant les dépenses de premier établissement, on a vu que les locomotives dont faisait usage la Compagnie, étaient de deux types différents, les machines primitives de la section de Vitré à Fougères avaient 4 roues couplées, celles qui furent achetées pour la section de Fougères-Moidrey étaient plus lourdes et à 6 roues couplées.

Les principales données et dimensions de ces deux types de locomotives sont contenues dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION.	LOCOMOTIVES à 4 roues couplées.	LOCOMOTIVES à 6 roues couplées.
Longueur de la grille	$1^m,000$	$1^m,242$
Largeur de la grille	$0^m,800$	$1^m,000$
Surface de grille	$0^{m2},800$	$1^{m2},242$
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille	$1^m,300$	$1^m,300$
Nombre de tubes	138	125
Longueur des tubes entre les plaques	$2^m,485$	$3^m,950$
Diamètre extérieur des tubes	$48^m/_m$	$50^m/_m$
Surface de chauffe des tubes	$51^{m2},00$	$74^{m2},00$
Surface de chauffe du foyer	$5^{m2},00$	$6^{m2},00$
Surface de chauffe totale	$56^{m2},00$	$80^{m2},00$
Rapport de la surface de grille à la surface de chauffe totale	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{64}$
Diamètre moyen du corps cylindrique	$1^m,160$	$1^m,150$
Épaisseur de la tôle	$8^m/_m$ (acier)	$12^m/_m$ (fer)
Timbre de la chaudière	$8^{kg},00$	$8^{kg},500$
Approvisionnement d'eau	1 450 litres	3 900 litres
Approvisionnement de combustible	$1\,000^{kg}$	$1\,200^{kg}$
Diamètre des cylindres	$0^m,300$	$0^m,400$
Course des pistons	$0^m,600$	$0^m,600$
Diamètre des roues	$1^m,270$	$1^m,300$
Diamètre des fusées des essieux	$0^m,160$	$0^m,150$
Écartement des essieux extrême	$3^m,000$	$2^m,850$
Poids de la machine vide	$18,000^{kg}$	$26,000^{kg}$
Poids répartis en service sur chaque essieu. — 1er essieu	$11,000^{kg}$	$10,500^{kg}$
— 2e essieu	$11,500^{kg}$	$9,000^{kg}$
— 3e essieu	»	$12,500^{kg}$
Poids de la machine en service	$22,500^{kg}$	$32,000^{kg}$
Puissance de traction $\left(0,65\ \frac{p\delta^2 l}{D}\right)$	1935^{kg}	$3,600^{kg}$
Adhérence $\left(\frac{1}{7}\text{ du poids total}\right)$	2571^{kg}	4571^{kg}
Rapport de la puissance de traction à l'adhérence	$\frac{1}{1,32}$	$\frac{1}{1,27}$

Les machines à quatre roues accouplées, construites spécialement pour la section de Vitré à Fougères, présentent une disposition particulière au point de vue de la transmission du mouvement. La bielle motrice actionne un faux essieu tournant librement dans deux paliers fixés d'une manière invariable au châssis de la locomotive. Les manivelles de ce faux essieu, équilibrées par des contre-poids, sont calées à angle droit et donnent le mouvement aux bielles d'accouplement des deux essieux de la machine. Les excentriques sont fixés sur un retour en porte à faux des manivelles de ce faux essieu. En d'autres termes, c'est un essieu moteur ordinaire, dépourvu de jante de roue et relié aux longerons d'une façon rigide.

Cette disposition eût été compréhensible si elle avait eu pour résultat de diminuer l'écartement des essieux. Mais, dans le cas actuel, où l'empatement de ces essieux est de trois mètres, il eût été plus pratique de mettre deux roues à cet essieu moteur, ce qui aurait diminué d'un tiers la charge portée sur les essieux d'avant et d'arrière ; quant à la meilleure transmission du mouvement, on serait arrivé à peu près au même résultat, en ne laissant pas de jeu latéral aux coussinets des boîtes à graisse de cet essieu moteur et en supprimant le boudin de ses roues, ce que nous faisons pour l'essieu moteur de nos machines à six roues accouplées.

Ce type de machines n'est donc pas à imiter, d'autant moins que n'ayant qu'un poids moyen de 22.500 kilog., elles manquent d'adhérence et ne peuvent remorquer des trains de plus de 80 tonnes (machine non comprise), sur une ligne accidentée comme celle de Vitré à la baie du Mont-Saint-Michel.

Ces machines sont à cylindre et mouvements extérieurs ; les longerons ainsi que la chaudière sont en tôles d'acier. Les caisses à eau sont à l'arrière de la machine.

Les trois autres machines à six roues accouplées sont aussi à mouvements extérieurs, mais avec caisses à eau placées latéralement. Elles ne présentent du reste, aucune disposition spéciale méritant d'être signalée.

Nous ferons seulement remarquer que ces machines, très pesantes, (32 tonnes en charge moyenne) qui, en service régulier, circulent très fréquemment dans des courbes de très petits rayons, avec des vitesses qui atteignent 40 et même souvent 50 kilomètres à l'heure, sont soumises à des dislocations qui nécessitent le renforcement des longerons au droit de l'essieu d'avant. Ainsi, les trois machines de ce type que possède la Compagnie ont toutes eu leurs longerons rompus en moins de quatre ans de service, et il a fallu les consolider au moyen de plaques de garde rapportées sur les longerons primitifs, qui avaient cependant 23 millimètres d'épaisseur.

Toutes les machines sont munies de freins à vis dont les sabots agissent sur les roues d'avant et d'arrière. Les machines à six roues sont de plus pourvues d'une installation de frein à vapeur Lechatelier.

Comme l'usure très rapide des bandages des roues joue un grand

rôle dans l'exploitation d'une ligne aussi sinueuse que l'est celle dont nous nous occupons, nous en dirons quelques mots.

Dans le principe les bandages des roues de locomotives étaient en acier Bessemer, et ceux des roues de wagons, en fer. Mais comme c'est bien plus de l'usure des boudins que de l'écrasement de la table de roulement dont on a à se préoccuper, on a dû chercher une matière plus résistante que l'acier Bessemer pour la fabrication des bandages.

Une garniture de bandages en acier Bessemer n'arrivait pas à faire plus de 75 à 80,000 kilomètres, après n'avoir subi le plus souvent qu'un seul retournage, et encore n'arrivait-on à obtenir cette durée de parcours qu'en laissant les boudins s'user au-delà des limites d'épaisseur généralement admises.

On eut alors recours à des garnitures de bandages en acier Krupp ou Vickers, qui, malgré leur prix d'achat plus élevé, donnaient encore une économie, étant donné surtout la baisse de prix que ces matières ont subie depuis quelques années.

Si nous comparons deux garnitures de bandages en acier Bessemer et en acier fondu au creuset, tant au point de vue du prix de revient que du parcours effectué, on a les résultats suivants, en prenant les parcours moyens de chaque type de garniture.

1° Garniture de six bandages en acier Bessemer.

Prix d'achat 1,890 kilog. à 43 fr. 75 les 100 kilog.	826 fr. 90
Main-d'œuvre, frais de mise en place et de démontage, y compris un retournage.	228 fr. 00
	1,054 fr. 90
A déduire 1,350 kilog. vieux bandages à 8 fr. les 100 kilog.	108 fr. 00
	946 fr. 90

Soit pour un parcours moyen de 77,000 kilomètres, 0 fr. 01228 par kilomètre parcouru.

2° Garniture de six bandages en acier Krupp ou Vickers.

Prix d'achat 1,890 kilog. à 67 fr. 50 les 100 kilog.	1,275 fr. 75
Main-d'œuvre, frais de mise en place et de démontage, y compris *trois* retournages.	308 fr. 00
	1,583 fr. 75
A déduire 1,320 kilog. à 8 fr. les 100 kilog. . . .	105 fr. 60
Reste net.	1,478 fr. 15

Soit pour un parcours moyen de 160,000 kilomètres, 0 fr. 00924 par kilomètre parcouru.

Le parcours moyen de 77,000 kilomètres pour les bandages en acier Bessemer a été le résultat de la moyenne de parcours de cinq garnitures ayant fait de 66,000 à 86,000 kilomètres.

L'usure de ces bandages, qui avaient tous 60 millimètres d'épaisseur, était si rapide, que l'on ne pouvait faire qu'un seul retournage après un premier parcours moyen de 43 ou 45,000 kilomètres; après ce premier retournage, les bandages pouvaient encore parcourir 30 à 35,000 kilomètres et devaient être rebutés.

Les bandages en acier fondu Krupp ou Vickers mis aux mêmes machines et ayant même épaisseur ont donné en moyenne les résultats suivants :

Parcours effectué jusqu'au premier retournage. .	65,000 kilom.
id. id. entre le 1er et le 2e id. . . .	45,000 id.
id. id. entre le 2e et le 3e id. . . .	30,000 id.
id. id. entre le 3e retournage jusqu'au rebut.	20,000 id.
Parcours total. . .	160,000 id.

Nous donnons le profil de deux bandages en acier Bessemer et Vickers ayant fait tous deux des parcours exceptionnels avant le premier retournage, afin de bien montrer l'usure de ces bandages.

Ainsi qu'on peut le voir, les boudins primitifs des bandages sont renforcés afin de présenter plus de durée, et nous avons de plus obtenu une usure plus régulière des tables de roulement, en leur donnant sur toute leur longueur une inclinaison uniforme d'un peu plus de 1/20. Nous avons été jusqu'à l'inclinaison de 1/16, qui nous a donné d'excellents résultats; les bandages fatiguent ainsi beaucoup moins dans les courbes de faibles rayons et le déplacement des essieux se fait beaucoup plus facilement que quand le profil de la table de roulement présente des inclinaisons successives.

Comme c'est toujours l'essieu d'avant dont les boudins s'usent, ceux de l'essieu d'arrière restant presque intacts, il est indispensable que ces deux essieux puissent se substituer l'un à l'autre, si l'on veut avoir

une bonne utilisation des garnitures de bandages d'une machine. Nous appelons d'autant plus l'attention sur ce point, que dans nos machines à six roues couplées, cette substitution ne pouvait se faire, et que nous avons dû modifier la disposition des bielles et des boutons de manivelle pour arriver à ce résultat.

Afin de diminuer autant que possible l'usure des boudins, nous avons appliqué à plusieurs machines des appareils destinés à lubrifier le boudin des roues de l'essieu d'avant, mais, jusqu'ici les résultats n'ont pas été assez complets pour que nous puissions donner des chiffres certains. Nous avons également adapté à l'essieu d'avant de plusieurs machines, divers systèmes dits de translation, mais nous devons reconnaître que l'importance des résultats obtenus n'a pas été en rapport avec l'augmentation de dépense et surtout de complication des installations.

On se borne désormais à laisser un jeu latéral de six à huit millimètres dans les coussinets de boîte à graisse de l'essieu d'avant et de quatre à cinq millimètres dans ceux de l'essieu d'arrière, en ne donnant aucun jeu dans les coussinets de l'essieu moteur, dont les boudins sont réduits de façon à ne jamais porter contre les rails, même dans les courbes les plus prononcées[1].

L'usure des tiroirs et des cylindres est également assez rapide, par suite de la nécessité où l'on est, sur une ligne à profil très accidenté, de marcher, tantôt régulateur ouvert, tantôt régulateur fermé, sans que les mécaniciens puissent entretenir en marche une bonne lubrification des surfaces flottantes, chaque fois que la locomotive est obligée de marcher à vide. On a donc dû se préoccuper d'un graissage automatique de ces organes. Après divers essais nous avons adopté, aussi bien pour les tiroirs que pour les cylindres, un graisseur d'une disposition très simple due à M. Rollin, chef du service de la traction de la Compagnie. Ce graisseur ne fonctionne que quand cesse l'introduction de la vapeur. La simplicité de cet appareil en rend l'usage très facile aux mécaniciens, qui le préfèrent à tous les appareils similaires. La dépense d'huile est moins grande qu'avec les anciens graisseurs à boules, et, la lubrification se faisant d'une manière régulière et continue, en l'absence du contact de la vapeur, on obtient de très bons résultats.

1. La conicité des bandages de cet essieu moteur est modifiée en conséquence.

Les Stuffinbox des tiroirs et cylindres de toutes les machines sont munis de garnitures métalliques, ce qui donne aux mécaniciens une très grande facilité d'entretien, résultat très important dans une exploitation économique.

Voitures et wagons. — A part les deux voitures à impériales à longerons en fer surbaissés, semblables aux voitures à impériales des lignes de banlieue de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, toutes les autres voitures sont à longerons et châssis en bois sans impériales. Elles se rapprochent beaucoup des voitures de la Compagnie de l'Ouest. Les compartiments de première classe sont seulement de dix places, sans séparations ni accoudoirs.

Toutes ces voitures ont l'inconvénient inhérent à leur longueur, d'avoir leurs essieux très écartés, ce qui amène une usure plus rapide des boudins des roues, par suite du coincement des essieux, au passage des courbes de faible rayon.

Nous dirons également comme détail d'entretien, que les panneaux extérieurs portent un beaucoup trop grand nombre de moulures et baguettes en bois rapportées, qui sont une cause continuelle de réparations et augmentent en même temps les frais de peinture.

Quant aux wagons à marchandises, sous prétexte de diminuer le poids mort, mais surtout par raison d'économie dans les dépenses de premier établissement, la Compagnie commanda dans le principe des wagons plus légers que solides, et l'expérience de quelques années d'exploitation fit bientôt voir la faute commise. Sur une ligne comme celle de Moidrey à Vitré, où les principaux transports sont des transports de pierres et de sables de mer, des planches et portes en sapin n'ont pas fait un long usage et les frais d'entretien du matériel ont été fortement augmentés de ce chef.

De plus, afin de faciliter le passage dans les courbes, comme on avait diminué l'écartement des essieux sans diminuer la longueur des wagons, le porte à faux des longerons en bois s'est trouvé trop considérable aux extrémités des wagons, et les longerons se sont plus ou moins cintrés.

Surtout dans de petites exploitations où les frais de réparation sont toujours proportionnellement plus onéreux et où l'exiguïté du matériel ne permet pas toujours de faire les réparations en temps utile, on

doit s'appliquer à avoir un matériel très simple, mais très robuste, qui peut parfaitement être établi sans augmentation sensible de poids mort. L'augmentation de frais de premier établissement est bien vite compensée par l'économie d'entretien.

Aussi, dans ses dernières commandes et dans ses renouvellements, la Compagnie, tout en conservant les châssis en bois, a-t-elle adopté l'emploi des longerons en fer, en renforçant toutes les parties trop légères de son matériel.

Traction. — *Conduite.* — Le service de la traction est fait au moyen d'un roulement de quatre locomotives ayant chacune leur mécanicien et leur chauffeur. Deux machines sont toujours en circulation, la troisième fait la réserve, la quatrième est de dépôt pour les lavages et réparations courantes de petit entretien.

Le dépôt central des machines est à Fougères, au milieu de la ligne; à chacune des extrémités, à Vitré et à Moidrey, il y a un dépôt avec dortoir pour les mécaniciens.

En outre de leurs traitements fixes, les mécaniciens et chauffeurs touchent des primes proportionnées aux économies qu'ils peuvent réaliser sur la consommation des combustibles.

Les trains ayant un tonnage très variable, les primes sont calculées d'après le tonnage kilométrique remorqué et non au kilomètre de train, comme cela se faisait avant 1873. Outre l'économie qui en résulte pour la Compagnie, cela offre encore l'avantage d'inciter les mécaniciens à remorquer les charges les plus lourdes, car les économies de combustible sont proportionnellement plus fortes lorsque les machines travaillent en pleine puissance que quand elles remorquent de faibles charges.

La quantité de charbon alloué, quelle que soit la nature du combustible, y compris allumages, stationnements, manœuvres dans les gares de moins de 30 minutes, est de 180 grammes par tonne kilométrique remorquée, en hiver, et de 150 grammes en été, le poids de la machine n'étant pas compris dans le tonnage kilométrique.

Quand une machine circule haut le pied, elle est considérée comme remorquant 20 tonnes.

La prime d'économie pour les mécaniciens est de 8 francs par tonne économisée ; il leur est au contraire retenu 5 francs, par tonne dépen-

sée en sus de l'allocation. Les primes ou retenues des chauffeurs sont le tiers de celles des mécaniciens. Le chef du service de la traction est également intéressé aux économies.

Il est aussi alloué des primes d'économie pour l'huile et les chiffons, dont la consommation est fixée à 0 kilog. 025 d'huile et à 0 kilog. 015 de chiffons par kilomètre de train.

Le parcours moyen d'une machine est d'environ 30,000 kilomètres par an; mais comme le service n'est fait que par quatre mécaniciens, le parcours moyen annuel d'un mécanicien est de 45,000 kilomètres.

Les frais de conduite des trains, comprenant : Les salaires des mécaniciens et chauffeurs, les primes d'économie, l'éclairage des signaux de machines, les fagots d'allumage des machines, le minium, suif, chanvre, etc., servant au petit entretien des machines, se sont répartis de la façon suivante entre les quatre dernières années d'exploitation :

DÉSIGNATION.	1874.	1875.	1876.	1877.
FRAIS DE CONDUITE	fr.	fr.	fr.	fr.
Par kilomètre de train..................	0,1124	0,113	0,122	0,125
Par tonne kilométrique remorquée........	0,00193	0,00190	0,00187	0,00186

On voit que ces frais ont toujours été en diminuant d'une année à l'autre par rapport à la tonne kilométrique remorquée, tandis qu'ils augmentent par rapport au train kilométrique. Cela tient à ce que la charge des trains ayant toujours été en croissant, les mécaniciens et chauffeurs ont réalisé de plus fortes économies de combustible. La charge moyenne kilométrique des trains a en effet passé de 58t,20 en 1874 à 66t,98 en 1877.

Combustible. — Vu l'importance capitale de la consommation des combustibles, nous l'étudierons avec quelques détails.

Sur la ligne de Vitré à Moidrey, la consommation de charbon pendant les cinq dernières années a été la suivante, cette consommation comprenant le combustible dépensé pour traction, allumage, stationnements, manœuvres de gare.

DÉSIGNATION.	1873.	1874.	1875.	1876.	1877.
Consommation par tonne kilométrique remorquée, machine non comprise.	$0^{kg},1196$	$0^{kg},1113$	$0^{kg},1046$	$0^{kg},0968$	$0^{kg},1012$
Consommation par kilomètre de train.	$7^{kg}.556$	$6^{kg},477$	$6^{kg},207$	$6^{kg},320$	$6^{kg}.780$
Dépense par tonne kilométrique.	$0^{f},00578$	$0^{f},00506$	$0^{f},00420$	$0^{f},00360$	$0^{f},00335$
Dépense par train kilométrique..	0 ,3655	0 ,2947	0 ,2495	0 ,2355	0 ,2247
Le prix moyen de la tonne de combustible étant de.	$48^{f},38$	$45^{f},51$	$40^{f},19$	$37^{f},27$	$33^{f},14$

Le combustible employé se compose exclusivement de charbons anglais de la Manche de Bristol.

La diminution continue que l'on constate d'année en année, de 1873 à 1877, doit être attribuée en partie aux bons effets du système des primes d'économie inauguré dans le courant de 1873, et aussi à un meilleur entretien des machines, ainsi qu'à l'augmentation et à la meilleure répartition de la charge des trains.

La consommation exceptionnellement basse de l'année 1876 est due à l'emploi que l'on fit, pendant cette année, de briquettes d'excellente qualité; on dut néanmoins abandonner l'emploi de ce combustible, son prix de revient étant proportionnellement plus élevé que l'économie de consommation qu'il donnait. A part cet essai de briquettes, la qualité des charbons employés a été à peu près uniforme; ce sont des charbons maigres deux fois criblés et légèrement anthraciteux.

En résumé, c'est sur une consommation moyenne de 100 grammes par tonne remorquée que l'on doit compter sur une ligne comme celle de Vitré à Moidrey, tant que la charge moyenne kilométrique des trains ne dépasse pas 80 tonnes; nous avons pu constater, en effet, dans de nombreuses expériences, que, lorsque l'on atteint des charges kilométriques de 130 à 150 tonnes, la moyenne de consommation ne dépasse pas $0^{k},070$ par tonne kilométrique remorquée, machine non comprise.

Dans le mémoire si intéressant que M. Mallet a publié dernièrement sur les locomotives Compound de son système, cet Ingénieur se plaignant avec raison du peu de renseignements fournis par les Compagnies sur les résultats de leur exploitation, citait, d'après une note des *Annales des Mines*, la consommation de combustible sur notre ligne, comme ayant été de 106 grammes par tonne kilométrique remorquée.

On vient de voir que ce poids de 106 grammes est encore trop élevé, et que l'on peut admettre une consommation de 100 grammes avec des trains ayant une charge kilométrique moyenne de 70 tonnes.

Il nous a paru du reste intéressant de donner sur la consommation de combustible sur notre ligne quelques renseignements complémentaires pouvant être mis en regard des consommations obtenues avec les locomotives système Compound. En prenant les années 1875-1876-1877, comme années moyennes sur la ligne de Vitré-Fougères-Moidrey, on aurait la consommation suivante de combustible, en tenant compte du poids des machines dans les charges remorquées.

	1875.	1876.	1877.
Consommation de combustible par tonne kilométrique remorquée, en y comprenant le poids des machines....	0kg,0714	0kg,0672	0kg,0709

Il s'agit ici de consommation moyenne obtenue en divisant le poids total de charbon délivré aux machines pendant l'année par le tonnage kilométrique remorqué dans cette même année ; mais ces consommations étant très variables d'un mois à l'autre, surtout dans un pays humide comme la Bretagne, nous avons voulu nous rendre compte de ce que pouvait être la consommation, en ne considérant que les mois d'été, du 1er juin au 1er septembre, afin d'avoir des chiffres pouvant être mieux comparés à ceux obtenus dans les expériences faites avec les locomotives Compound, celles-ci ayant été faites pendant la belle saison et dans un climat relativement chaud.

Voici les résultats obtenus en divisant les poids de charbon délivrés aux mécaniciens par les charges remorquées pendant ces trois mois.

	JUIN, JUILLET, AOUT.		
	1875.	1876.	1877.
Consommation par tonne kilométrique remorquée, machine non comprise..........................	0kg,0968	0kg,0880	0kg,0964
Consommation par tonne kilométrique remorquée, machine comprise..........................	0 ,0677	0 ,0618	0 ,0674

Il n'y aurait donc pas un bien grand écart entre ces résultats et ceux obtenus avec les machines système Compound ; mais nous n'avons du reste pas cité ces chiffres pour infirmer en rien les résultats obtenus par l'application du système Compound aux locomotives, car il est certain que des résultats ne sont absolument comparables que quand ils ont été obtenus dans des conditions de fonctionnement identiques. Nous avons cru seulement utile de donner des chiffres certains obtenus dans des conditions déterminées [1], pouvant au besoin servir de terme de comparaison, avec l'espérance que des expériences comparatives concluantes seront tentées en mettant en service sur une même ligne des locomotives type Compound, parallèlement à des locomotives de même puissance, du système ordinaire. On ferait ainsi ressortir d'une façon indiscutable les avantages de ce nouveau perfectionnement, qui serait appelé à rendre de bien grands services aux petites lignes de chemins de fer, à trafic essentiellement variable, si les économies de combustible atteignaient en réalité dans la pratique une proportion quelque peu importante.

Graissage. — La lubrification des divers organes des machines se fait exclusivement avec de l'huile de colza soutirée. La consommation d'huile pour le graissage des machines a été la suivante, pendant les années 1874-1875-1876-1877.

		1874.	1875.	1876.	1877.
Consommation d'huile des machines pour graissage.	Par tonne kilom. remorquée...	0kg,000523	0kg,000497	0kg,000468	0kg,000479
	Par train kilom.	0 ,03042	0 ,02948	0 ,03050	0 ,03200
Dépense de graissage des machines.	Par tonne kilom.	0fr,000433	0fr,000427	0fr,000414	0fr,000482
	Par train kilom.	0 ,02518	0 ,02541	0 ,02699	0 ,03220

On voit que la consommation moyenne est d'environ 30 à 32 grammes par kilomètre de train, quoique l'allocation réglant la prime d'économie de graissage ne soit que de 25 grammes par kilomètre de train. La plupart des mécaniciens subissent donc des retenues de ce chef, ce qui tend à prouver que ce poids de 30 grammes par kilomètre de train

1. Les chiffres que nous donnons sont d'autant plus exacts, que, pendant cette période de trois années, les déchets de combustible constatés sur les livres de la Compagnie sont à peu près nuls, ce qui prouve que les pesées ont été faites très régulièrement.

ne peut guère subir de diminution sans risquer de compromettre le bon fonctionnement des organes.

Les voitures seules sont munies de boîtes à huile système Delannoy, les wagons sont munis de boîtes à graisse.

La consommation moyenne est de 2 grammes d'huile par train kilométrique moyen, contenant cinq essieux graissés à l'huile, soit $0^{g},40$ par essieu à 1 kilomètre.

La consommation de graisse pour le service des trains (wagons à marchandises), a été la suivante pendant les quatre dernières années :

	1874.	1875.	1876.	1877.
Consommation de graisse par train kilométrique.................	$0^{kg},00716$	$0^{kg},00482$	$0^{kg},00340$	$0^{kg},00342$
Nombre moyen d'essieux graissés à la graisse par train kilométrique..	$10^{e},12$	$10^{e},36$	$11^{e},30$	$11^{e},76$
Consommation moyenne par essieu à 1 kilomètre.................	$0^{gr},707$	$0^{gr},465$	$0^{gr},300$	$0^{gr},290$

L'excès de consommation que l'on peut constater dans les années 1874 et 1875 doit être attribué à ce qu'à cette époque, le levage et la visite des coussinets des wagons ne se faisaient pas d'une façon assez régulière et aussi à la grande quantité de transports de sablons de mer, dont la poussière impalpable pénétrait dans les boîtes à graisse et amenait fréquemment l'échauffement des fusées. Ces transports ayant diminué d'importance depuis 1876, et le levage des wagons se faisant très régulièrement depuis cette époque, la consommation est redevenue normale et même relativement faible.

Afin de compléter les renseignements relatifs au service de la traction, nous donnons quelques résultats statistiques sur le parcours, le tonnage et la composition des trains.

PARCOURS, TONNAGE ET COMPOSITION DES TRAINS.

DÉSIGNATION.	1874.	1875.	1876.	1877.
Parcours total des locomotives	186.240 kil.	184.000 kil.	186,650 kil.	186.848 kil.
Parcours total des trains	184.572 kil.	183.699 kil.	184.767 kil.	185.516 kil.
Nombre de trains par jour à distance entière (81 kilomètres)	$6^{t}.21$	$6^{t}.21$	$6^{t}.23$	$6^{t}.25$
Nombre d'essieux par train moyen	$14^{e}.56$	$14^{e}.74$	$15^{e}.84$	$16^{e}.46$
Nombre de voitures à voyageurs par train moyen	$2^{v}.22$	$2^{v}.19$	2 .27	$2^{v}.35$
Nombre de wagons à marchandise par train moyen	$5^{w}.06$	$5^{w}.18$	$5^{w}.65$	$5^{w}.88$
Tonnage kilométrique moyen, remorqué par train kilométrique	$58^{tk}.20$	$59^{tk}.33$	$65^{tk}.23$	$66^{tk}.98$
Tonnage kilométrique grande vitesse par train kilométrique (Voyageurs, bagages, messageries, voitures à voyageurs, fourgons.)	$23^{tk}.50$	$23^{tk}.90$	$24^{tk}.44$	$26^{tk}.08$
Tonnage kilométrique total petite vitesse par train kilométrique (Marchandises petite vitesse et wagons à marchandises.)	$34^{t}.70$	$35^{t}.43$	$40^{t}.79$	$40^{t}.90$
Tonnage kilométrique *utile* petite vitesse par train (Marchandises petite vitesse par train à 1 kilomètre.)	$16^{t}.11$	$16^{t}.04$	$17^{t}.94$	$18^{t}.49$
Tonnage kilométrique *poids mort* petite vitesse par train (Wagons à marchandises remorqués à 1 kilomètre.)	$18^{t}.59$	$19^{t}.39$	$22^{t}.85$	$22^{t}.41$
Rapport entre le tonnage kilométrique *poids mort*, et le tonnage kilométrique *utile* par train kilométrique (Transports de petite vitesse.)	1,154	1,208	1,272	1,212

Vitesse et composition des trains. — Sur la ligne de Vitré à Moidrey, il ne circule que des trains mixtes réguliers. Leur vitesse moyenne, arrêts déduits, n'est que de 28 kilomètres à l'heure; cette vitesse, qui, au premier abord, paraît assez réduite, ne saurait être augmentée sans inconvénient, étant donné le profil accidenté de la ligne. En effet, si l'on tient compte du ralentissement nécessaire à l'arrivée et au départ de chaque station, et de 16,5 pour 100 environ du parcours dans chaque sens, en rampes de 15 millimètres, qui ne peuvent être franchies à une vitesse de plus de 15 à 20 kilomètres à l'heure, sans compter les autres rampes à gravir, il en résulte que, sur les pentes et paliers, on atteint en service normal des vitesses de 45 et 50 kilomètres à l'heure. Ces vitesses ne sauraient être dépassées sans danger, sur une ligne aussi sinueuse, où le rayon des courbes descend jusqu'à 250 mètres, d'autant plus qu'ainsi que cela a été dit plus haut, des raisons d'économie d'entretien de voie, ne permettent pas de donner aux courbes un dévers de plus de 8 centimètres.

La charge maxima des trains en service régulier est de 80 tonnes brutes, non compris le poids de la machine, lorsque les trains sont remorqués par une machine à quatre roues accouplées, du poids de 22 tonnes. Les machines à six roues accouplées du poids de 32 tonnes peuvent, au contraire, remorquer des trains de 150 tonnes brutes. Ces limites de charge ne sauraient être dépassées, dans les sections où il y a à franchir des rampes de 15 millimètres coïncidant avec des courbes de faible rayon, ce qui crée à l'exploitation une sujétion parfois très onéreuse, quand le trafic devient quelque peu important.

Les trains ne contiennent que deux véhicules à freins avec serre-freins, quand le nombre de voitures ou wagons ne dépasse pas 12; au delà de ce chiffre, lorsqu'il y a des voyageurs dans le train, on ajoute un troisième frein.

Les trains mixtes réguliers ou les trains de voyageurs ne doivent pas contenir plus de 18 véhicules, fourgon compris. Pour les trains de marchandises, ce nombre maximum est porté à 24.

Entretien et réparations du matériel. — Dans les débuts de l'exploitation, toutes les réparations autres que celles de petit entretien courant, étaient faites par des constructeurs ou des

ouvriers de la localité, et les pièces de rechange étaient commandées toutes finies aux divers fournisseurs. Ce système était très onéreux pour la Compagnie, aussi, en 1873, se décida-t-elle à installer à Fougères un véritable petit atelier de réparations, qui a permis de réaliser des économies très sérieuses sur l'entretien du matériel.

Ainsi qu'on a pu le voir aux frais de premier établissement, ce petit atelier qui, avec la halle de réparations, occupe une surface d'environ 400 mètres carrés, se compose de l'outillage suivant :

Un tour à roues de locomotives et de wagons, de 0m,800 de hauteur de pointes, avec tous ses accessoires, pour tourner les roues motrices et aléser les bandages.

Un tour à fileter de 0m,250 de hauteur de pointes.

Une machine à percer à plateau tournant.

Un étau limeur à deux tables de 0m,400 de course.

Un marbre à dresser.

Une grande meule.

Un établi pour ajusteurs avec cinq étaux et tout un outillage d'ajustage, de taraudage, de filetage, etc., etc.

Une forge à deux feux avec tout l'outillage de deux forgerons, enclumes, pinces, marteaux, étampes, etc.

Un gros étau à chaud.

Une grande forge circulaire desservie par six tuyères, pour le désembattage des bandages, servant également à chauffer les bandages pour l'embattage.

Une cuve à refroidir les bandages.

Une grue de deux tonnes desservant le four à embattre et la cuve à refroidir.

Tout un outillage pour l'embattage des bandages, chaînes, pinces, gabarits, etc.

Un ventilateur pour six feux soufflant les forges et le four à embattre.

La force motrice est donnée par une petite machine demi-fixe de deux chevaux.

La halle de réparations et l'atelier sont desservis par un chariot roulant à fosse, pouvant recevoir des machines.

Ce chariot dessert également un petit parc à roues, ainsi qu'un treuil roulant de 25 tonnes, servant au levage des machines et situé

en plein air, en face de la halle de réparations, au-dessus d'une fosse, facilitant le montage et le démontage des machines.

A cet atelier est adjoint un petit atelier de menuiserie et de charronnage, avec son outillage, et un petit atelier de chaudronnerie et ferblanterie, avec une forge spéciale et tout l'outillage d'un chaudronnier-ferblantier.

Le personnel de l'atelier se compose :

D'un chef monteur, faisant en même temps fonctions de chef d'atelier, et travaillant toutefois comme ajusteur;

De deux ajusteurs; d'un tourneur avec un aide qui conduit le gros tour, ces deux ouvriers travaillant au besoin comme ajusteurs;

De deux forgerons avec un frappeur, qui conduit en même temps la machine motrice de l'atelier;

De deux ferreurs dont l'un fait fonctions de visiteur à Fougères;

De deux manœuvres pour la réparation des wagons et machines;

Enfin d'un menuisier et d'un chaudronnier-ferblantier.

Avec cet outillage et ce personnel des plus restreints, on arrive néanmoins à faire l'entretien du matériel roulant en y comprenant les grosses réparations, même celles de chaudronnerie.

Toutes les pièces de rechange sont commandées brutes aux forges et fonderies et sont finies et ajustées sur place.

Les réparations du matériel fixe sont également faites à l'atelier de Fougères, qui tous les six mois, en débite le compte de l'entretien de la voie et du matériel fixe; il en est de même pour les réparations du matériel des gares, ponts, anspecks, cabrouets, etc., dont la dépense est portée au compte de l'exploitation proprement dite.

Le dépôt de Fougères, qui est contigu à l'atelier, est pourvu d'une installation de six appareils bascules Erhardt, servant au réglage des ressorts de locomotives, une bascule six ponts ayant été une dépense beaucoup trop considérable.

Ces appareils demandent quelques soins pour être mis en fonction, mais donnent d'excellents résultats en étant manœuvrés avec quelques précautions.

Au dépôt de Fougères est attachée une équipe de quatre à cinq nettoyeurs servant en même temps de manœuvres à l'atelier pour les grosses réparations.

Cette équipe fait également le service des chargements de combustible et les manutentions du magasin général.

Il y a de plus un visiteur à Vitré.

Le lavage et le nettoyage des voitures, ainsi que le service de l'éclairage des trains, sont faits à Moidrey par les hommes d'équipe de l'Exploitation.

Les dépenses de réparation et de petit entretien du matériel roulant, comprenant main-d'œuvre, pièces de rechange, matières premières, charbons de forge, charbon de bois, outillage, force motrice, etc., etc., se sont réparties de la façon suivante dans les quatre dernières années de l'exploitation.

DÉSIGNATION.	1874 par train kil.	1875 par train kil.	1876 par train kil.	1877 par train kil.
Entretien et réparation des machines	fr. 0,07224	fr. 0,08816	fr. 0,09919	fr. 0,09145
Entretien et réparation des wagons	0,02467	0,02997	0,02880	0,03590
Entretien et réparation des voitures	0,00959	0,02368	0,00661	0,00745
Dépenses totales d'entretien et de réparations du matériel	0,10650	0,14181	0,13460	0,13480

Les variations que l'on peut constater dans les dépenses de réparations de machines sont, en réalité, sans importance, et ne doivent être attribuées qu'à des causes accidentelles; du reste, sur un budget aussi faible, les plus petites dépenses sont sensibles. Tant qu'il n'y aura pas de remplacement de chaudière ou de foyer, ces dépenses de réparation de locomotives, ne dépasseront pas $0^f,10$ par train kilométrique.

Il n'en est pas de même des dépenses d'entretien de wagons et de voitures, qui vont toujours en augmentant d'une année à l'autre. La forte dépense que l'on constate sur l'entretien des voitures en 1875 est due à ce que cette année-là, on fut obligé de repeindre à neuf un grand nombre de voitures. A cette occasion, nous ferons remarquer que nous avons dû renoncer à vernir nos caisses de voitures. Les transports de chaux étant très importants sur la ligne de Vitré à Fougères et, tous les trains étant mixtes, les peintures de ces voitures

étaient détériorées en quelques mois par les poussières alcalines provenant des wagons attelés en avant des voitures à voyageurs.

Désormais, les caisses des voitures sont simplement recouvertes de fortes couches d'apprêt, sur lesquelles on passe trois à quatre couches de peinture à l'huile. C'est moins brillant et moins luxueux, mais bien plus résistant.

Frais généraux du service. — *Matériel et traction.* — Les frais généraux de ce service comprenant :

1° Service central (traitement du chef de service, qui fait en même temps les fonctions de chef de dépôt, dépense des machines de réserve et de secours, frais de bureaux, imprimés, service médical, etc.) ;

2° Service de l'eau (combustible, matières grasses, main-d'œuvre, entretien).

Se sont décomposés et répartis comme suit pendant ces quatre dernières années.

DÉSIGNATION.	1874.		1875.		1876.		1877.	
	Par train kil.	Par tonne kil.	Par train kil.	Par tonne kil.	Par train kil.	Par tonne kil.	Par train kil.	Par tonne kil.
Service de l'eau..... ..	fr. 0,0079	fr. 0,000134	fr. 0,0070	fr. 0,000117	fr. 0,0065	fr. 0,000101	fr. 0,0063	fr. 0,000094
Service central........	0,0206	0,000355	0,0227	0,000384	0,0163	0,000357	0,0262	0,000391

Les dépenses relatives au service de l'eau ont donc toujours été en diminuant, à cause de la baisse continue des combustibles ; quant aux variations que l'on peut constater sur les dépenses du service central, elles sont dues principalement à des variations de traitement.

Résumant toutes les dépenses du service matériel et traction pour les années 1874-75-76-77, on arrive aux chiffres suivants :

DÉPENSES DU SERVICE « MATÉRIEL ET TRACTION »

DÉSIGNATION.	1874.		1875.		1876.		1877.	
	Par train kil.	Par tonne kil.	Par train kil.	Par tonne kil.	Par train kil.	Par tonne kil.	Par train kil.	Par tonne kil.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Dépense de combustible....	0,29476	0,005060	0,2495	0,004200	0,2355	0,003600	0,2247	0,003350
Frais de conduite des trains.	0,11248	0,001930	0,1130	0,001900	0,1220	0,001870	0,1250	0,001860
Graissage des machines....	0,02518	0,000438	0,0254	0,000427	0,0269	0,000414	0,0322	0,000482
Graissage des trains......	0,00658	0,000107	0,0046	0,000080	0,0042	0,000074	0,0038	0,000052
Entretien et réparation du matériel roulant........	0,10650	0,001841	0,1418	0,002402	0,1346	0,001954	0,1348	0,001931
Service de l'eau..........	0,00790	0,000134	0,0070	0,000117	0,0065	0,000101	0,0063	0,000094
Service central..........	0,02060	0.000355	0,0227	0.000384	0,0163	0,000357	0,0262	0,000391
Dépenses totales.....	0,57400	0,009860	0,5640	0,009510	0,5460	0,008370	0,5530	0,008260

Ainsi qu'on peut le remarquer, les dépenses du service matériel et traction ont toujours été en diminuant, par rapport à la charge totale remorquée.

Afin que l'on puisse mieux se rendre compte des résultats généraux obtenus dans l'exploitation de la ligne que nous venons d'étudier, nous avons groupé en un seul tableau toutes les dépenses de l'exploitation par kilomètre de chemin exploité et par train kilométrique, pendant les quatre dernières années.

DÉSIGNATION.	1874.		1875.		1876.		1877.	
	Par kilomètre.	Par train kil.	Par kilomètre.	Par train kil.	Par kilomètre.	Par train kil.	Par kilomètre.	Par train kil.
Dépenses de l'Exploitation.								
Administration centrale, frais généraux	fr. 692 10	fr. 0,303	fr. 551 66	fr. 0,243	fr. 682 99	fr. 0,299	fr. 679 85	fr. 0,297
Mouvement, trafic, service des gares.	1063 53	0,467	1063 47	0,469	1076 60	0,472	1127 15	0,492
Matériel et Traction	1307 86	0,574	1280 99	0,564	1245 57	0,546	1267 17	0,553
Voie. — Matériel fixe	693 87	0,304	749 46	0,331	748 57	0,328	835 05	0,365
Total des dépenses de l'Exploitation.	3757 36	1,648	3645 58	1,607	3753 73	1,645	3909 22	1,707
Charges générales de la Cie.								
Frais de contrôle de l'État	120 00	0,053	120 00	0,053	120 00	0,052	120 00	0,051
Impôts divers, patentes, assurances, etc.	117 96	0,052	120 83	0,053	111 52	0.050	113 02	0,050
Total des dépenses générales	3995 32	1,753	3886 41	1,713	3985 25	1,747	4142 24	1,808

Ces dépenses d'exploitation, sensiblement les mêmes d'une année à l'autre, ne sont donc pas des résultats accidentels[1], et peuvent être considérés comme bien acquis à l'expérience, d'autant plus qu'ils ont été obtenus en service régulier, sans que la bonne expédition des

1. En 1878, les dépenses d'exploitation ont été les suivantes :

	Par kilomètre.	Par train kilométr.
Administration centrale et frais généraux	690f 43	0f 301
Mouvement, trafic des gares	1121 49	0 489
Matériel de traction	1265 71	0 552
Voie et matériel fixe	737 23	0 321
Total des dépenses d'exploitation	3814 86	1 663
Charges générales.		
Frais de contrôle de l'État	120 00	0 0512
Impôts divers, patentes, assurances, etc	115 04	0 0508
Total des dépenses générales	4049f 90	1f 7650

affaires ou l'entretien du matériel aient eu à en souffrir. C'est ce que constatent du reste les rapports officiels des fonctionnaires du contrôle de l'État ; et, tout récemment encore, l'exploitation du chemin de fer de Vitré à Fougères a été citée comme type à suivre par le Directeur des chemins de fer de l'État. Nous ne croyons pas, du reste, qu'il soit possible de descendre en dessous des chiffres que l'on vient de citer, sans risquer de compromettre la sécurité, l'entretien du matériel et même le trafic.

Pour compléter les renseignements que nous avons donnés sur les dépenses et frais d'exploitation, nous avons établi un tableau comparatif des dépenses par rapport aux recettes, pendant les mêmes années 1874-1875-1876-1877.

DÉSIGNATION.	1874.		1875.		1876.		1877.	
	Par kilomètre.	Par train kil.	Par kilomètre.	Par train kil.	Par kilomètre.	Par train kil.	Par kilomètre.	Par train kil.
Total général des recettes du trafic..	fr. 5392 10	fr. 2,366	fr. 5462 44	fr. 2,408	fr. 6097 24	fr. 2,672	fr. 6514 55	fr. 2,844
Total général des dépenses de l'exploitation proprement dite.......	3757 36	1,648	3645 58	1,607	3753 73	1,645	3909 22	1,706
Produit net des recettes du trafic, sur les dépenses de l'exploitation.....	1634 74	0,717	1816 86	0,801	2343 51	1,027	2605 33	1,137
Rapport pour 100 des dépenses de l'exploitation aux recettes du trafic.	69,68 %		66,74 %		61,56 %		60,01 %	
Total général des recettes de la Compagnie......................	fr. 5720 37	fr. 2,510	fr. 5657 27	fr. 2,494	fr. 6271 32	fr. 2,748	fr. 6754 44	fr. 2,949
Total général des dépenses de l'exploitation générale............	3995 82	1,753	3886 41	1,713	3985 25	1,747	4142 24	1,807
Produit net des recettes totales sur les dépenses de l'exploitation générale....................	1735 05	0,757	1770 86	0,781	2286 07	1,001	2612 20	1,142
Rapport pour 100 des dépenses générales aux recettes totales de la Compagnie..................	69,84 %		68,69 %		63,54 %		61,32 %	

On voit que la proportion des frais d'exploitation par rapport aux recettes a toujours été en diminuant, mais qu'elle est encore de 60 pour cent des recettes ; on peut néanmoins en conclure, que dans des conditions analogues à celles où l'on se trouve sur la ligne de Vitré à la baie du Mont-Saint-Michel, on pourrait arriver à la proportion de 50 pour cent de dépenses pour des recettes atteignant 9 à 10,000 francs par kilomètre, les frais de renouvellement en grand de la voie n'étant pas, bien entendu, compris dans ces chiffres.

Cette étude nous paraîtrait incomplète, si nous ne la faisions pas suivre de quelques renseignements généraux sur les recettes et le trafic de la Compagnie, pouvant au besoin servir de termes de comparaison avec des lignes similaires.

Nous donnons donc ci-dessous deux tableaux contenant les principales données statistiques sur les recettes et le trafic pendant les quatre dernières années.

Recettes de l'Exploitation (Déduction faite des Impôts et des Détaxes).

DÉSIGNATION.	1874.		1875.		1876.		1877.	
	Par kil. de ligne.	Par kil. de train.	Par kil. de ligne.	Par kil. de train.	Par kil. de ligne.	Par kil. de train.	Par kil. de ligne.	Par kil. de train.
Nature des Recettes.								
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Voyageurs	2060 60	0,904	2003 15	0,883	2249 47	0,986	2431 57	1,062
Bagages, Messageries, grande vitesse.	224 78	0,099	247 89	0,109	253 03	0,111	271 53	0,119
Marchandises en petite vitesse	2904 72	1,274	2992 32	1,319	3329 25	1,459	3554 20	1,551
Bestiaux et accessoires de la petite vitesse	150 39	0,066	180 44	0,080	217 50	0,095	195 46	0,085
Magasinages	51 61	0,023	38 64	0,017	47 99	0,021	61 79	0,027
Total des Recettes du Trafic	5392 10	2,366	5462 44	2,408	6097 24	2,672	6514 55	2,844
Recettes en dehors du Trafic (Domaine de la Compagnie, Intérêts de fonds disponibles, Recettes diverses, etc.)	328 27	0,144	194 83	0,086	174 08	0,076	239 89	0,105
Total des Recettes de la Compagnie	5720 37	2,510	5657 27	2,494	6271 32	2,748	6754 44	2,949
Renseignements statistiques sur les Recettes.								
— VOYAGEURS. —	fr.		fr.		fr.		fr.	
Recette moyenne par voyageur	1,104		1,066		1,061		1,124	
Recette moyenne par voyageur transporté à 1 kilomètre	0,0437		0,0437		0,0423		0,0426	
— TRANSPORTS EN PETITE VITESSE. —								
Recette moyenne par tonne transportée	3,005		3,252		3,069		3,157	
Recette moyenne par tonne transportée à 1 kilomètre	0,083		0,087		0,086		0,088	
Recette moyenne par tête de bétail	1,482		1,470		1,457		1,536	
Recette moyenne par tête de bétail transportée à 1 kilomètre	0,039		0,036		0,036		0,039	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LE TRAFIC

	DÉSIGNATION.	1874.	1875.	1876.	1877.
VOYAGEURS ET MARCHANDISES Grande vitesse.	Nombre total des voyageurs	151.204^{v}	152.193^{v}	171.637^{v}	175.262^{v}
	Parcours kilométrique total des voyageurs	3.819.622^{k}	3.715.363^{k}	4.302.658^{k}	4.623.735^{k}
	Moyenne de parcours par voyageur	25^{kil}.261	24^{kil}.412	25^{kil}.068	26^{kil} 881
	Nombre de voyageurs par train moyen à distance entière	66^{v}.37	67^{v}.10	75^{v}.24	76^{v}.50
	Proportion °/₀ des trois classes, par rapport aux quantités totales. 1re classe	1,90 °/₀	2,06 °/₀	2,09 °/₀	2,05 °/₀
	2e classe	7,32 °/₀	7,37 °/₀	7,33 °/₀	7,65 °/₀
	3e classe	90,78 °/₀	90,57 °/₀	90,58 °/₀	90,30 °/₀
	Bagages (tonnage)	692^{t}.925^{kg}	712^{t}.728^{kg}	781^{t}.112^{kg}	827^{t}.347^{kg}
	Chiens (nombre)	1147	1288	1242	1338
	Messageries et marchandises en grande vitesse (tonnage)	375^{t}.564^{kg}	411^{t}.742^{kg}	415^{t}.223^{kg}	427^{t}.118^{kg}
	MARCHANDISES EN PETITE VITESSE (TONNAGE).				
MARCHANDISES PETITE VITESSE ET BESTIAUX.	Céréales, grains, farines, légumes secs, etc	6.261^{t}.102^{kg}	8.602^{t}.864^{kg}	9.575^{t}.210^{kg}	9.076^{t}.576^{kg}
	Vins, esprits, boissons	1.807 .204	2.788 .849	2.264 .898	2.507 .906
	Sels et salaisons	2.174 .223	2.146 .090	2.253 .873	2.365 .248
	Bois, pierres, matériaux de construction, etc	15.908 .113	19.249 .061	24.456 .625	26.907 .210
	Chaux, plâtres, amendements et engrais	10.855 .141	10.671 .130	11.200 .091	13.416 .715
	Tangues de la baie du mont Saint-Michel	25.067 .900	17.597 .200	20.887 .200	17.200 .420
	Combustibles divers	4.111 .700	2.905 .128	5.117 .602	5.093 .838
	Marchandises diverses	9.478 .802	9.104 .492	9.421 .268	11.030 .178
	Transports de service	2.640 .732	1.451 .732	2.680 .332	2.260 .083
	Tonnage total des marchandises, petite vitesse	78.299 .802	74.516 .546	87.857 .000	91.177 .664
	Tonnage des marchandises par train moyen à distance entière	36 .268	34 .983	40 .863	42 .045
	Parcours kilométrique total des marchandises	2.826.885^{kil},5	2.779.305^{kil},3	3.111.167^{kil},7	3.250.280^{kil},7
	Moyenne de parcours d'une tonne	36^{kil},10	37^{kil},30	35^{kil},41	35^{kil},65
	Chevaux et Bestiaux. (Nombre). Chevaux	387	505	392	817
	Bœufs et vaches	4.620	4.367	5.091	5.062
	Veaux et porcs	2.798	3.752	4.288	3.989
	Moutons et brebis	322	389	287	326

A titre de renseignements, nous donnerons enfin les dépenses d'exploitation de la section de Vitré à Fougères, depuis 1869 jusqu'en 1873, mais nous ne saurions discuter ces résultats, n'ayant sur ceux-ci aucune donnée personnelle à fournir, puisque nous n'avons pris la direction de l'exploitation de la Compagnie que dans le courant de 1873.

Nous nous bornerons à faire remarquer que, bien que sur cette section, il n'y eût qu'une circulation de trains dits de *navette*, cependant les frais d'exploitation sont sensiblement plus élevés que ceux auxquels nous sommes arrivés depuis 1873, et que le chiffre toujours croissant des dépenses matériel et traction, dû en partie à l'augmentation des combustibles, doit être surtout attribué à ce que, pendant cette période, la Compagnie a dû faire faire à l'extérieur toutes ses réparations de matériel.

DÉSIGNATION.	1869.		1870.		1871.		1872.		1873.	
	PAR kilomètre.	PAR tr. kil.	PAR kilomètre.	PAR tr. kil.	PAR kilomètre.	PAR tr. kil.	PAR kilomètre.	PAR tr. kil.	PAR kilomètre.	PAR tr. kil.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Administration centrale. Frais généraux	945 26	0,405	445 57	0,200	579 02	0,249	806 35	0,326	811 31	0,326
Mouvement du trafic	1221 25	0,523	1209 83	0,545	1213 45	0,522	1102 40	0,446	1108 24	0,446
Matériel et traction	1047 12	0,448	1164 23	0,524	1830 07	0,574	1640 30	0,664	1776 44	0,715
Voie et matériel fixe	674 46	0,289	721 86	0,325	673 97	0,290	836 00	0,339	960 71	0,386
Total des dépenses de l'exploitation	3888 09	1,665	3541 39	1,594	3803 11	1,635	4385 05	1,773	4656 70	1,873
Charges générales	685 60	0,294	535 63	0,241	539 66	0,232	400 34	0,162	249 33	0,100
Total des dépenses générales	4573 69	1,959	4077 02	1,835	4342 77	1,867	4785 39	1,935	4906 03	1,973

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans la construction et l'exploitation de la ligne de Vitré à la baie du Mont Saint-Michel et que nous venons d'exposer en cette étude, nous semblent avoir leur importance, au moment où l'État entreprend la construction du réseau complémentaire de nos voies ferrées et même l'exploitation de certaines lignes secondaires. — En effet, on peut conclure des chiffres que nous avons cités que, dans les conditions moyennes où se trouvent la plupart des lignes restant à entreprendre, en se bornant à les construire surtout au *point de vue pratique*, sans vouloir exécuter de *grands travaux*, qui coûtent toujours fort cher, sans rendre pour cela plus de services, on pourra parfaitement se tenir dans la limite de 80 à 120,000 francs par kilomètre pour les dépenses d'infra et de superstructure. Mais nous croyons que ce but ne pourra être atteint que si l'État fait appel à l'Industrie privée, en favorisant la création de Compagnies chargées pour le compte de l'État et sous la direction de ses Ingénieurs, de la construction des lignes qu'elles devraient ensuite exploiter, et auxquelles serait abandonnée comme bénéfices, une partie des économies qu'elles auraient su réaliser sur les devis primitifs de construction. Ces Compagnies ayant à exploiter par la suite, à leurs risques et périls et dans des conditions déterminées, les lignes qu'elles auraient ainsi construites, auraient le plus grand intérêt à les établir dans les meilleures conditions possibles, ce qui serait pour l'État la plus sûre garantie de bonne exécution.

Ces Compagnies, opérant pour le compte de l'État, n'auraient besoin que d'un très faible capital et se borneraient pour ainsi dire, sous la

tutelle de l'État, à leur rôle d'exploitant, sans avoir à se lancer dans des spéculations financières pour trouver une rémunération de leurs capitaux.

Quant à l'exploitation, ainsi qu'on l'a vu, on peut en assurer le service pour 4,000 à 4,500 francs par an et par kilomètre, sur des lignes dont le trafic ne dépasse pas 8 à 9,000 francs par an et par kilomètre, et qui peuvent être suffisamment desservies par trois trains dans chaque sens, ce qui est le cas le plus général.

Si, à ces dépenses d'exploitation proprement dites, on ajoute les frais de renouvellement de voies, qui, dans les mêmes conditions de circulation, peuvent être évalués à 1,000 francs par an et par kilomètre, on arrive à un chiffre de 5,000 à 5,500 francs qui peut être pris comme base d'une exploitation pour une période de 25 à 30 ans, pendant laquelle des renouvellements devront être exécutés.

Reste le matériel roulant et l'outillage de l'exploitation, qui peuvent être évalués à environ 15 à 16,000 francs par kilomètre de ligne suivant le trafic à desservir; si c'est la Compagnie d'exploitation qui le fournit, il y aura de ce chef à réserver l'intérêt et l'amortissement du capital engagé, soit 950 francs à 1,000 francs par an et par kilomètre, en comptant l'intérêt à 5 pour 100 et l'amortissement en 25 ou 30 ans.

En résumé, il nous semble donc démontré que l'État, en réservant ou en garantissant un revenu kilométrique annuel de 6000 à 6,500 francs, et en partageant avec l'exploitant l'excédant des recettes dans une certaine proportion, devra pouvoir assurer, dans des conditions très économiques et très satisfaisantes, l'exploitation de la majeure partie du nouveau réseau de nos chemins de fer français.

Novembre 1878.

NOTICE

SUR

HENRI DE DION

ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

PAR MM. MOLINOS ET SEYRIG

H. de Dion est né à Montfort-l'Amaury en 1828. Il fit ses études en Suisse, entra en 1848 à l'École Centrale, et en 1851, au bureau des études du chemin de fer de Saint-Germain. Les facultés exceptionnelles dont la nature l'avait doué pour les sciences le portèrent, dès sa sortie de l'école, à étudier avec ardeur toutes les questions de résistance des matériaux et de mécanique qui à cette époque étaient, bien moins que de nos jours, familières à la presque totalité des ingénieurs, quelle que fût leur origine. La prodigieuse activité d'esprit de l'illustre ingénieur qui dirigeait alors la Compagnie du chemin de fer de Saint-Germain, ouvrait un champ d'études inépuisable à ses jeunes élèves. M. Flachat commençait en effet cette grande réforme des procédés de construction encore nouvelle en Angleterre même, et à laquelle il a attaché son nom, l'introduction du métal dans les constructions. Soit qu'il imitât en les perfectionnant toujours les grands exemples que pouvait offrir l'industrie anglaise, soit qu'il imaginât des solutions entièrement neuves, M. Flachat, dans l'espace de deux ou trois années, construisait la grande charpente métallique de la gare de Paris, les ponts de Clichy et d'Asnières, le chemin de fer d'Auteuil, les charpentes en tôle ondulée des ateliers de Saint-Germain, enfin les grands ponts du chemin de fer du Midi. C'était une bonne fortune incomparable pour un jeune ingénieur, que de débuter dans un pareil milieu où allaient prendre naissance tant de progrès si nouveaux, qu'ils étaient encore peu compris ailleurs et accueillis même avec une méfiance extrême. Sous un chef dont l'esprit fécond et ingénieux savait toujours indiquer les meil-

leures solutions, qui aimait la jeunesse, et inspirait autour de lui le respect et le dévouement, de Dion se distingua bien vite et fut envoyé au chemin de fer du Midi pour étudier le pont de Langon.

Cette belle étude est bien son œuvre personnelle. Elle fut pour lui le point de départ de ses travaux sur la résistance des matériaux, travaux qu'il devait poursuivre toute sa vie, et qu'une mort prématurée devait seule interrompre lorsqu'ils n'avaient pas encore porté tous leurs fruits.

Il venait d'achever cette mission lorsque M. Flachat fut désigné par M. le Ministre des cultes, sur la demande des habitants de la ville de Bayeux, pour donner son avis sur une question qui agitait alors tous les esprits dans cette ville et donnait lieu à des polémiques passionnées. Il s'agissait de la conservation de la tour centrale de la cathédrale qui menaçait ruine et que les architectes, les inspecteurs généraux des édifices diocésains avaient unanimement condamnée à une démolition immédiate. M. Flachat, au contraire, avec cette hardiesse et cette justesse de coup d'œil qui étaient le caractère distinctif de son esprit, déclara que la conservation de la tour lui paraissait possible et, qu'à la condition d'en être chargé sans délai et avec complète liberté d'action, il répondait du succès.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler brièvement ici quelle était la situation des choses au moment où M. Flachat prenait cet engagement, elle fera comprendre en même temps toute la difficulté de l'entreprise et la responsabilité redoutable qu'il assumait. On nous pardonnera d'entrer dans quelques détails sur ces travaux peu connus; l'intérêt qu'ils présentent par eux-mêmes suffirait peut-être à les justifier, mais ils touchent directement à notre sujet, puisqu'il s'agit de la première œuvre importante à l'exécution de laquelle de Dion allait prendre une part considérable.

La tour centrale de la cathédrale de Bayeux est une construction du quinzième siècle, élevée sur les quatre piliers formant l'intersection de la nef et du transept. Ces piliers étaient romans, et les architectes de la tour, les trouvant trop faibles pour supporter le poids dont ils allaient les charger, construisirent autour de chacun d'eux une enveloppe qui en augmentait le diamètre. Mais cette enveloppe n'était pas reliée avec le noyau central, le choix des matériaux avait été fait légèrement, la maçonnerie peu soignée, en sorte que quelque tassement s'étant produit avec le temps, le poids de la tour vint à reposer alternativement

sur les noyaux et les enveloppes, en les écrasant séparément. A l'époque où la condamnation de la tour avait été prononcée les dommages étaient vraiment effrayants, l'enveloppe des piliers était absolument broyée et le noyau seul opposait encore quelque résistance. Les murs du transept et de l'abside étaient lézardés, de toutes parts ainsi que les grandes voûtes des baies percées dans ces murs; des témoins placés sur les lézardes, et une grande règle en bois pendue dans la tour par les ordres de M. Flachat, de manière à permettre d'en observer tous les mouvements, démontraient que les désordres s'aggravaient tous les jours et que la chute de la tour était imminente. C'est à ce moment que de Dion fut désigné pour suivre ce travail et qu'accompagné de MM. Trélat, Cretin, Pierron et Molinos, M. Flachat se rendit à Bayeux afin d'étudier sur place les procédés à employer pour restaurer la tour et ses points d'appui.

Le problème était beaucoup plus difficile à résoudre qu'il ne paraissait au premier abord. Les architectes avaient essayé d'arrêter le progrès de la destruction de toute la partie centrale de la cathédrale, en soutenant au moyen d'échafaudages et de cintres les grandes voûtes du transept et de l'abside, et en remplissant de maçonnerie grossière toutes les baies des murs adjacents. Malheureusement ces moyens étaient ou inefficaces ou nuisibles. Le sol de l'église se composait sur une grande épaisseur de détritus et de remblais qui, n'offrant pas de point d'appui solide aux échafaudages des cintres, ne permettaient pas à ceux-ci de s'opposer efficacement à la descente de la tour. Comme en remplissant les baies du transept et de l'abside on n'avait pas eu la précaution de démolir les arcs inférieurs de ces baies, le poids considérable de la maçonnerie de remplissage était en partie reporté par les voûtes inférieures sur les piliers, et devenait ainsi pour eux un nouvel élément de ruine.

A l'arrivée de M. Flachat à Bayeux, des observations faites avec soin sur la règle et les témoins dénotaient en un seul jour une descente de plus d'un centimètre d'amplitude. D'un moment à l'autre, la tour pouvait s'écrouler entraînant dans sa ruine toute la partie centrale de l'église.

Or, avant de pouvoir répondre de la sécurité de l'édifice, il fallait arrêter la méthode à suivre, créer pour les échafauds un point d'appui solide, les refaire complètement d'une manière mieux appropriée à leur destination; quelque célérité qu'on apportât à ces préparatifs, il

allait nécessairement s'écouler un certain temps, pendant lequel on était réduit à l'impuissance et contraint d'attendre en simples spectateurs un événement qu'on ne pouvait conjurer.

Cette considération fit hésiter un instant M. Flachat lui-même ; de Dion, qui avait depuis plusieurs jours étudié avec une sagacité rare l'état de l'édifice dans toutes ses parties, fit valoir les motifs qui démontraient qu'on avait devant soi, avant la catastrophe, plus de temps que les apparences ne permettaient au premier abord de l'espérer ; il insista avec force pour qu'on n'abandonnât pas l'entreprise et son opinion prévalut.

Voici le plan qui fut arrêté : On décida que, comme mesures immédiates, on entourerait les piliers d'un coffrage en bois dans lequel on coulerait du plâtre jusqu'aux naissances des grandes baies du transept, en le serrant le plus possible contre la retombée des voûtes ; on apportait ainsi aux piliers un secours temporaire, mais très efficace, et on retardait leur écrasement définitif. On démolit sans délai les lourdes maçonneries de remplissage qui chargeaient inutilement les baies de l'abside. On commanda immédiatement des cylindres en tôle qui devaient être enfoncés au pied de chaque pilier jusqu'à la rencontre du rocher et fournir aux cintres un point d'appui solide. Ils devaient être posés en un mois et remplis de maçonnerie. Les nouveaux échafaudages devaient pendant ce temps être taillés sur place et prêts à être montés. On entourerait la tour elle-même de ceintures de fer formées de barres posées à chaud, de manière à arrêter la marche des lézardes et même à les refermer.

Entre les cintres et l'échafaud on interposerait des verrins en nombre suffisant pour soulever le poids total de la tour et dégager complètement les piliers.

L'établissement des fondations, le montage des cintres, le soulagement complet des piliers au moyen des verrins, devaient être poussés sans hésitation et avec une vigueur et une rapidité dont dépendait évidemment le succès de l'entreprise.

Tels étaient les travaux qui étaient confiés à de Dion. Si le plan était complet et parfaitement conçu, les ingénieurs apprécieront quelle était la tâche considérable et la lourde responsabilité qui incombait à l'exécution ; une fausse manœuvre, une erreur, une hésitation entraînant un retard de vingt-quatre heures suffisaient à tout compromettre. Dans cette mission si délicate dans laquelle pendant plusieurs se-

maines au moins, de Dion risquait à chaque instant sa vie et celle des ouvriers qu'il commandait, il montra pour la première fois l'énergie et le sang-froid dont il était doué. Nous ne pourrions, sans sortir du cadre de cette notice, donner même une idée des nombreuses difficultés de détail que soulevait à chaque instant l'exécution du plan adopté.

M. Flachat avait naturellement donné comme aides à de Dion l'élite des charpentiers et chefs maçons de la Compagnie de l'Ouest; tout d'abord plusieurs de ces agents expérimentés n'acceptèrent pas sans réserve l'autorité d'un jeune homme de vingt-cinq ans; au bout de quelques jours l'autorité morale de de Dion était si bien établie, qu'ils n'auraient plus osé entreprendre la moindre manœuvre sans son ordre et ses conseils, et qu'il obtenait d'eux cette obéissance aveugle qui naît d'une confiance sans limite.

Le succès de ce beau travail fut complet, au bout de quelques semaines la tour, dont le poids était d'environ trois millions de kilogr., reposait sur ses échafaudages, elle avait même été soulevée par l'effet des verrins. On démolissait les piliers pour les reconstruire et l'œuvre s'accomplissait conformément au plan arrêté, sans imprévu et sans le moindre accident. De Dion reçut comme récompense la croix de chevalier de la Légion d'honneur.

Pendant l'exécution de ces travaux, un événement pénible donna un exemple de cette action personnelle que de Dion exerçait sur les hommes qui l'approchaient dans un moment de danger.

Un puisatier travaillant aux environs de Bayeux fut enseveli sous l'écroulement de la maçonnerie d'un puits. Par un hasard providentiel, les moellons firent voûte au-dessus de sa tête et il se trouva emprisonné vivant et sans blessures graves. On accourut, et de Dion un des premiers, pour tenter le sauvetage de ce malheureux. L'opération était difficile car le moindre ébranlement, communiqué à la maçonnerie écroulée, pouvait rompre l'équilibre sans doute très instable des matériaux et causer la mort de l'homme.

De Dion sans perdre un instant fit faire un puits à quelque distance et percer une galerie pour rejoindre ce dernier. On atteignit bientôt la maçonnerie écroulée et on put faire passer à l'homme, au moyen d'un tube, quelques aliments liquides. Mais c'était le moment critique, engagé de tous côtés dans les pierres, il fallait les plus grandes précautions pour le retirer sans provoquer l'éboulement. Malgré la présence sur les lieux de divers personnages officiels, tout le monde d'un

commun accord avait abandonné à de Dion la direction du sauvetage ; lorsque écrasé de fatigue de Dion allait prendre quelques instants de repos, le malheureux qui avait appris à reconnaître sa voix, le redemandait à grands cris, se croyant, dès qu'il ne l'entendait plus, abandonné et perdu ; enfin, après deux jours et trois nuits d'efforts et d'émotions, de Dion avait la satisfaction de l'arracher de ses propres mains à son effroyable prison.

Après l'achèvement des travaux de Bayeux, de Dion alla en Espagne pour le compte de la Compagnie belge de matériel de chemin de fer, et y monta plusieurs ponts en tôle importants. Puis, à la Guadeloupe où il construisit la sucrerie de M. de Rancougne, une des plus belles usines des colonies. Il la dirigea pendant deux années, mais, le climat altérant sa santé, il dut revenir en France.

A son retour il remplaça pendant une année M. E. Trélat au Conservatoire des Arts et Métiers (cours de construction civile) et il accepta à l'École d'architecture la chaire de stabilité des constructions. La tâche que de Dion entreprenait était très difficile. Les architectes, préoccupés presque exclusivement des questions de forme, de décoration, d'art et de goût, en un mot, méprisent très généralement les connaissances techniques dans lesquelles ils puiseraient cependant de précieuses ressources ; passer sa vie à mettre la matière en œuvre, et ignorer les lois qui en régissent l'emploi, est une inconséquence contre laquelle la nouvelle École d'architecture voulait réagir. Mais il fallait faire pénétrer les notions nécessaires de mécanique et de stabilité des constructions dans des esprits dont les études préliminaires insuffisantes n'offraient presque aucune base pour un enseignement précis. Tout le monde connaît le double écueil à éviter dans ce genre de tentative : ou n'être pas compris, ou descendre à une vulgarisation sans intérêt. De Dion sut y échapper ; obligé de se passer des mathématiques supérieures, il établissait nombre de théorèmes d'une façon élémentaire. Puis, à force de procédés graphiques, suivant la tendance géométrique de son esprit qui le portait à toujours peindre aux yeux, il arriva à ce résultat vraiment remarquable de créer un cours original, absolument clair, à la portée de l'auditoire auquel il était destiné, et intéressant à lire pour des personnes même très versées dans ces matières.

En même temps il dirigeait la Compagnie du port de Santander pour laquelle il eut à exécuter des travaux à la mer d'une certaine importance. Pendant cette période il était en outre chargé de diverses mis-

sions par une société de banquiers de Paris et de Constantinople, pour le compte de laquelle il fit plusieurs voyages et en dernier lieu une grande expédition au Chili et en Bolivie.

C'est en mer et en revenant de ce lointain voyage qu'il apprit la déclaration de la guerre de 1870 et nos premiers désastres ; son ardent patriotisme ne laissait plus dans son esprit d'autre préoccupation que celle de défendre son pays. Il s'enrôla dans le génie auxiliaire, créé à Paris. Il y joua le rôle le plus actif et le plus dévoué. Il construisit des batteries à Montrouge, à Maisons-Alfort sur le territoire de Créteil ; il exécuta la plupart des travaux préparatoires de l'affaire du Drancy, élevant devant l'ennemi des épaulements dans la plaine de Saint-Denis, du Bourget ; il était à Champigny construisant, sous le feu, des batteries au Perreux ; son dernier ouvrage a été un commencement de batterie sur les rampants du fort des Hautes-Bruyères bombardés par Chatillon. Comme toujours, il s'est dévoué tout entier, acceptant toutes les fatigues, ne reculant devant aucune mission, si obscure, si pénible qu'elle fût, se rendant encore plus utile par l'exemple de complète abnégation qu'il donnait et l'action morale qu'il exerçait autour de lui. Il reçut comme récompense la croix d'officier de la Légion d'honneur et c'est bien exclusivement à l'initiative de ses chefs qu'il dut cette distinction ; ce n'est pas au milieu de l'effondrement de sa patrie qu'il aurait pour la première fois de sa vie songé à lui.

En 1877, de Dion était nommé Président de la Société des Ingénieurs civils ; son extrême modestie, la réserve naturelle de son caractère, qui le portaient toujours à se tenir à l'écart et en dehors même des honneurs professionnels, qu'une ambition très légitime fait rechercher par la plupart des hommes, l'avaient fait longuement hésiter à accepter cette fonction. Elle a permis à tous nos collègues de le mieux connaître, d'apprécier l'élévation de son caractère, la solidité et l'étendue de son savoir. Quoique déjà atteint du mal qui devait l'emporter si tôt, il remplit ses fonctions avec autant de zèle que de succès.

Cependant il venait d'être chargé par MM. Krantz et Duval, d'un service important à l'Exposition universelle. On lui confiait l'étude et l'exécution au point de vue technique de toutes les constructions métalliques de l'Exposition, c'était une des parties les plus importantes de cette grande œuvre ; enlevé par une cruelle maladie, avant de la voir terminée, il put au moins en achever toutes les études, et s'il lui fut refusé de jouir du succès auquel il avait pris une grande part, il avait

du moins trouvé déjà une récompense de ses efforts dans l'estime et l'amitié même de ses chefs et de ses collaborateurs.

De Dion avait depuis longtemps étudié pour lui-même les grandes fermes sans entrait. Déjà à propos de la ferme de l'Exposition de 1867, qui, on s'en souvient, présentait une disposition assez nouvelle consistant à prolonger les piliers soutenant les fermes, au-dessus de la toiture, et à les rejoindre par un tirant, il avait conclu qu'on pouvait, sans augmentation sensible de poids, supprimer les entraits en répartissant dans les fermes la matière ainsi économisée. A son arrivée à l'Exposition il trouva les études engagées dans la voie des fermes Polonceau à entrait retroussé. Après une délicate et minutieuse étude comparative, de Dion arriva à faire ressortir tous les avantages de la grande ferme sans entrait. Elle fut adoptée par le directeur des travaux et par M. le commissaire général; et on peut dire sans exagération que cette ferme, élégante et hardie, est devenue un des éléments les plus originaux et les plus justement admirés dans la construction entière.

Il nous serait bien difficile sinon impossible de résumer dans cette notice, sans dessins, les dispositions les plus remarquables des constructions métalliques de l'Exposition. A chaque pas on rencontre, en les étudiant, un détail ingénieux et intéressant; des publications spéciales et officielles les feront sans doute ressortir. Mais nous ne pouvons pas ne pas mentionner les dômes d'angle du vestibule, dont la construction est à la fois si simple, si hardie, et relativement si économique. Le bâtiment des annexes, qui présente la réalisation d'une étude à peu près parfaite de fermes sans entrait, a également obtenu le plus légitime succès.

De Dion avait trouvé à l'Exposition universelle l'occasion d'appliquer sur une grande échelle les méthodes de calcul qu'il avait imaginées. Déjà il en avait fait l'épreuve dans l'examen du projet du grand pont du Douro. Il en avait en outre esquissé les traits principaux dans une communication à la Société des Ingénieurs civils; mais, travaillant sans cesse à les perfectionner, il n'était malheureusement pas arrivé à leur donner une forme définitive qui le satisfît lui-même, et il poursuivait sans relâche les recherches ingénieuses qui l'avaient conduit déjà à des résultats nouveaux et intéressants. Une bonne partie de ses travaux sera donc sans doute perdue; ce que nous en connaissons constitue cependant un progrès considérable, il suffit à montrer que personne encore n'avait poussé aussi loin que lui l'étude d'un des pro-

blèmes les plus compliqués de la résistance des matériaux, celui de l'équilibre d'une pièce de forme quelconque soumise à des forces quelconques. On trouvera dans l'appendice joint à cette notice un exposé des calculs pour la grande ferme de l'Exposition, et de la ferme des annexes effectués d'après sa méthode; sans les examiner ici en détail, nous voulons au moins essayer de les caractériser en peu de mots, de manière à faire ressortir ce qu'elles ont d'original, et à faire comprendre le courant de ses idées.

De Dion n'a pas eu la prétention d'avoir imaginé l'usage des méthodes graphiques, ou de refaire la théorie de la flexion des solides. Cette théorie est faite et sans doute définitive. Mais si pour un analyste pur, un problème est résolu lorsqu'il est mis en équation, il n'en est pas de même pour l'ingénieur qui a affaire à ces équations. Nous en citerons un exemple. Lorsque pour la première fois on a songé, il y a une trentaine d'années, à calculer des poutres droites continues, en faisant varier leurs sections proportionnellement aux moments fléchissants maximum, il n'y avait plus à faire de recherches sur le sujet théorique, et Bélanger dans son cours à l'École Centrale avait donné la solution générale du problème. Mais, lorsqu'on voulait faire usage de cette solution, on se trouvait en présence de calculs absolument rebutants par leur longueur et par conséquent inquiétants aussi par les chances d'erreurs qu'ils présentaient.

Lorsque Clapeyron indiqua un autre procédé de calcul, il ne modifiait en rien la théorie générale de la flexion, il donnait seulement une nouvelle relation entre les éléments de la poutre sur une pile, et les mêmes éléments sur la pile suivante; et cependant il rendait un immense service, puisque ces relations nouvelles conduisaient à des équations très simples, grâce auxquelles le calcul devenait pratique et relativement court. Le service que de Dion a rendu dans le calcul d'une pièce quelconque reposant sur deux appuis, soumise à des forces quelconques, est analogue.

Il partait d'abord de ce principe, que le point de vue d'un ingénieur n'est pas le même que celui du savant qui s'occupe de science pure. Il n'a pas besoin d'une solution mathématiquement exacte; il lui faut des approximations suffisantes, et surtout sûres dans de certaines limites. Les méthodes graphiques qui donnent des solutions très approchées sont donc absolument appropriées aux applications que nous avons à faire des théories mécaniques aux constructions. Or,

lorsqu'on soumet au calcul les conditions d'équilibre d'une pièce de dimensions très variables, on est obligé pour arriver à des équations intégrables d'introduire dans les formules des hypothèses qui s'éloignent beaucoup de la vérité, et conduisent alors à des résultats qui ne méritent plus aucune confiance.

De Dion reprenant la théorie de la flexion, telle qu'elle a été exposée par Bélanger, est arrivé à mettre les équations du problème sous une forme nouvelle, et qui fait ressortir un fait d'une haute importance, sur lequel, croyons-nous, il a le premier appelé l'attention, et d'où il a su faire découler des conséquences importantes.

« Ainsi, dit-il lui-même, c'est une remarque sur laquelle il est utile d'insister parce qu'elle n'a pas encore été suffisamment mise en lumière, le problème général (de l'équilibre d'une pièce courbe soumise à des forces quelconques), conduit à trois équations du premier degré à trois inconnues ; les coefficients qui affectent ces inconnues sont des intégrales qui dépendent de la forme et des dimensions de la pièce, indépendamment des efforts qu'elle peut avoir à supporter. »

On trouvera ces trois équations dans l'exposé sommaire de ces calculs que nous donnons dans l'appendice sous les nos 31, 32 et 33 et on comprend sans peine l'usage très avantageux qu'on en peut faire. La forme de la pièce et la répartition des charges entrant dans la constante ou dans les coefficients qui affectent les trois inconnues, si cette forme et la répartition des charges ne sont pas définies par des lois géométriques qui permettent d'intégrer les équations, on peut toujours construire graphiquement et mesurer ces coefficients avec tel degré d'approximation qu'on voudra. Le calcul de ces coefficients se réduit à des mesures de surfaces ou de volumes; le résultat ainsi obtenu peut être considéré par un ingénieur comme absolument exact, il n'est entaché d'erreur par aucune hypothèse arbitraire.

En lisant l'exposé du calcul complet tel que de Dion l'a indiqué, on est en outre frappé des informations précieuses qu'il donne pour les modifications à apporter au besoin aux formes et aux dimensions de la pièce calculée ; chaque terme conserve sa signification claire, que l'esprit suit sans peine, tandis qu'il en perd facilement la conception dans des transformations algébriques. Ainsi par exemple, si on veut changer la répartition des charges, tous les calculs faits peuvent servir, on n'a qu'une seule intégrale à calculer de nouveau.

A l'aide de ces remarques ingénieuses et par une étude persévérante, de Dion avait acquis une telle habileté personnelle, un sentiment si exact des conditions principales d'une grande construction métallique, qu'il était arrivé, en négligeant des éléments de calcul, vraiment négligeables, à calculer pour ainsi dire en un instant une ferme très compliquée comme celle des annexes de l'Exposition française. On en trouvera plus loin un exemple frappant dans le calcul approximatif de cette ferme, effectué par un procédé très expéditif incontestablement nouveau, et dont les résultats ne diffèrent que d'une quantité insignifiante de celui du calcul rigoureux.

A mesure que nous approchons du terme de notre carrière, il faut bien nous résigner à supporter les coups de plus en plus menaçants de cette loi cruelle qui, avant de nous frapper nous-mêmes, nous enlève avec nos plus chères amitiés comme des lambeaux de notre propre vie. Mais à notre douleur se joint un sentiment de profonde amertume, lorsque nous voyons une mort prématurée atteindre un ami au moment même où il allait recueillir le fruit de toute une vie d'honneur et de travail. Pour tous ceux qui l'ont connu intimement, de Dion était, sans exagération, un homme éminent auquel les événements, les difficultés inhérentes à la carrière d'Ingénieur civil, n'ont pas donné d'occasions suffisantes de se manifester. Le rôle considérable qu'il a joué à l'Exposition universelle, lorsque pour la première fois il se trouvait chargé d'une lourde responsabilité dans une vaste entreprise d'utilité publique, prouve que la profonde amitié qui nous unissait, n'influe pas sur notre jugement. De Dion réunissait en effet deux qualités qui s'excluent généralement. Il avait l'esprit ouvert aux plus hautes spéculations scientifiques, en même temps que la vigueur de son caractère, la promptitude de son coup d'œil en faisaient un homme d'exécution et de chantier. Aussi, dans sa carrière, il ne compte pas un seul échec quoiqu'il ait été plusieurs fois chargé de travaux très difficiles. Au moment où la mort l'a frappé, de Dion avait conquis sa place au premier rang; l'estime et le respect de tous le désignaient à l'avenir pour de brillants succès.

Si sa carrière si bien remplie a été un honneur pour notre profession; si tous ses collègues ont eu le sentiment profond du vide qu'il allait laisser parmi nous, combien sa perte a-t-elle été plus sensible

pour sa famille et pour ses amis! A cette haute intelligence, à cette noblesse de sentiments qu'on reconnaissait en lui dès le premier abord, de Dion joignait toutes les qualités du cœur qui font le charme de la vie commune. C'était le plus sûr, le plus dévoué des amis; sous une enveloppe un peu sévère, son âme avait un besoin d'affection qui se trahissait vis-à-vis de ceux qu'il aimait par des attentions sans nombre et d'une délicatesse infinie. Marié depuis un an à peine, entouré de l'affection la plus tendre et la plus dévouée, parvenu à une haute situation, l'esprit occupé d'études qu'il poursuivait avec passion et qui lui ménageaient sans doute de nouveaux succès, il est mort au moment précis où tout semblait lui sourire. Il a envisagé sa fin prochaine avec sa fermeté habituelle, consolé par la pensée que sa mémoire resterait bien chère à tous ceux qu'il avait aimés lui-même.

APPENDICE

I

L'étude approfondie de la résistance et de la déformation des pièces de forme quelconque présentait pour de Dion un attrait particulier. Esprit éminemment lucide et simple, il lui semblait qu'on embarrassait les questions de cette théorie de trop de complications. Il trouvait que l'on avait tort de vouloir restreindre à des cas particuliers les différentes méthodes dont se composait le corps de doctrine. Aussi visait-il la solution du problème de la flexion dans sa plus grande généralité, et appliquait-il ses efforts à la considération d'un corps de forme et de nature quelconque, soumis à tels efforts que l'on voudra.

Cette manière de poser le problème sortait évidemment du courant d'idées qui prédomine dans les théories relatives à la flexion. La forme de l'objet qui subit les déformations n'étant pas géométriquement définie, il reste peu de chose des procédés habituellement employés. Il faut alors remplacer la formule et l'expression analytique de la forme par une définition graphique, c'est-à-dire le dessin de la figure du corps lui-même. Cette définition sera peut-être moins précise, mais elle suffira toujours dans les problèmes tels que les pose la pratique. Par contre elle permettra d'aborder l'étude de n'importe quelle forme de structure, et de résoudre des problèmes que leur généralité ou leur complication rendent insolubles tant qu'on ne dispose que des formules basées sur l'équation de la pièce.

Dès 1875, de Dion ébauchait une théorie destinée à suffire au but que nous venons d'indiquer. Il y avait été conduit par l'étude des leçons qu'il professait à l'École spéciale d'architecture, et il entrevoyait déjà à ce moment la forme si simple à laquelle il devait arriver.

Quelque temps se passa cependant encore avant que sa méthode ne prît une forme définitive. Diverses applications lui avaient fourni des indications pratiques sur les difficultés à résoudre, et ce n'est qu'en

1877, au Congrès de l'Association pour l'avancement des sciences, puis quelques mois plus tard, devant la Société des Ingénieurs civils, qu'il put développer l'ensemble des procédés qu'il avait trouvés, et qu'il estimait devoir être plus simples à la fois que ceux déjà connus, et plus généraux dans leurs applications.

Nous allons donner ici un exposé sommaire de la méthode, telle qu'il l'a laissée. Nous ne saurions affirmer qu'elle eût déjà revêtu la forme dernière à laquelle, dans sa pensée, elle devait arriver. C'est sous cette forme que plusieurs applications ont été faites et qu'elle a reçu la sanction de la pratique. Elle s'est trouvée, dans ces cas, simple et expéditive, tout en donnant, par son emploi, la satisfaction d'une méthode sûre et pratique.

Nous suivrons dans cet exposé, et souvent littéralement, la note qu'il présenta au Congrès que nous rappelons plus haut.

Considérons une pièce plane, de forme et de sections quelconques, dont l'axe neutre est connu. — Nous supposerons faite la démonstration de la décomposition des effets que produisent les forces agissantes sur chaque section. Ces effets se réduisent toujours aux suivants :

1° Celui d'un moment des forces extérieures par rapport à la section :

2° A une compression tangentielle produite par la projection de ces forces sur la direction de la fibre neutre au point considéré ;

3° A un glissement transversal produit par la projection des mêmes forces sur une direction normale à la précédente.

Nous allons évaluer successivement ces trois effets qui se superposent, indépendamment l'un de l'autre, dans la déformation de la pièce.

Flexion. — Nous supposons connu l'effet que produit sur une portion prismatique de la pièce, infiniment courte, un moment fléchissant en ce point. Nous admettons donc comme établies les équations :

$$i = \frac{R}{E} \qquad (1)$$

$$\mu = \frac{RI}{v'} \qquad (2)$$

dans lesquelles :

R est le coefficient de travail d'une fibre de la pièce.

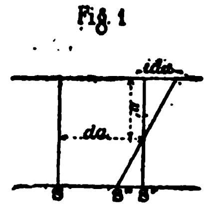
E est le coefficient d'élasticité de la matière.

i l'allongement produit sur l'unité de longueur dans la fibre.

v' la distance de la fibre à l'axe neutre de la section.

μ le moment fléchissant dans la section considérée.

I le moment d'inertie de cette section.



Soient S et S′ les deux sections qui limitent la portion prismatique en question, et dont la longueur, mesurée sur l'axe neutre, est da. Par l'effet du moment fléchissant μ qui existe entre ces deux sections, elles éprouveront l'une par rapport à l'autre un mouvement angulaire $d\alpha$. Ce mouvement est mesuré par le rapport $\frac{ida}{v'}$.

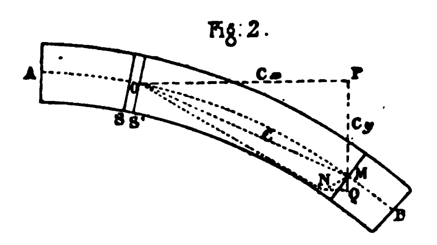
Or des équations (1) et (2) ci-dessus, on tire :

$$\frac{i}{v'} = \frac{\mu}{EI}. \qquad (3)$$

On a donc :

$$d\alpha = \frac{\mu}{EI} \cdot da \qquad (4)$$

La quantité $\frac{\mu}{EI}$ est une expression qui servira constamment dans les considérations qui vont suivre. De Dion proposait de l'appeler *l'infléchissement* de la pièce au point considéré.



Appelons C la distance d'un point quelconque M de la pièce, à la section (S S′) considérée plus haut. Par l'effet du mouvement angulaire $d\alpha$, ce point aura subi un déplacement df, et la mesure de ce déplacement sera ainsi qu'on voit :

$$df = C\,d\alpha = \frac{C\mu}{EI} \cdot da \qquad (5)$$

Nous négligeons dans les considérations très simples qui précèdent, la faible influence qui résulte de ce que, avant toute déformation, les sections S et S′ peuvent n'être pas parallèles. Nous avons en effet supposé que l'élément $d\alpha$ est prismatique.

Nous négligeons de même l'effet du déplacement possible de l'axe neutre par suite de la flexion.

Lorsque la pièce AB est tout entière soumise à la flexion, le mouvevement angulaire de chaque section produit un déplacement du point M, ou de tout autre point de la pièce. Supposant toujours la section S fixe, le déplacement total de M par rapport à S, sera : $\int^{0} \frac{C\mu}{EI}\, d\alpha$

Il est en général plus commode de connaître les déplacements par leurs projections sur deux axes rectangulaires. Ces projections sont faciles à déterminer. Les deux triangles NMQ, MOP sont en effet semblables, et l'on a :

$$df = df_x \cdot \frac{C}{C_y} \tag{6}$$

et

$$df = df_y \cdot \frac{C}{C_x} \tag{7}$$

Substituant successivement ces deux expressions de df dans l'équation (5) on obtient :

$$df_x = C_y \frac{\mu}{EI} d\alpha. \tag{8}$$

$$df_y = C_x \frac{\mu}{EI} d\alpha. \tag{9}$$

et, totalisant les effets des moments fléchissants sur la pièce entière :

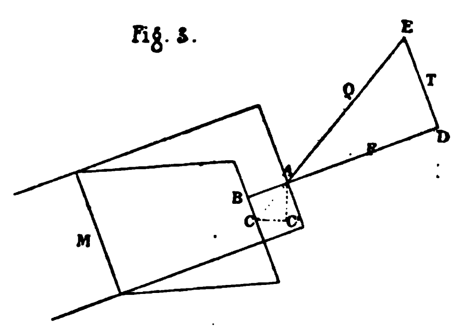
$$f_x = \int_{M}^{0} C_y \frac{\mu}{EI} d\alpha. \tag{10}$$

$$f_y = \int_{M}^{0} C_x \frac{\mu}{EI} d\alpha. \tag{11}$$

Ces expressions, sont, sous une forme plus simple, les mêmes que celles données déjà par M. Bélanger et M. Bresse. Les valeurs qu'elles

contiennent sont toutes variables, le coefficient E pouvant lui-même, dans certains cas, n'être pas constant dans toute l'étendue d'une pièce. En général il est même impossible d'exprimer, au moyen d'une relation analytique, la variabilité de ces éléments.

Compression et glissement. Indépendamment des déplacements dus aux mouvements angulaires occasionnés par la flexion, il se produit dans l'intérieur de la pièce d'autres déplacements, dus à la résultante des efforts qui passent par chaque section. Cette résultante peut toujours se décomposer en un effort F, normal, et en un effort tranchant T, parallèle à la section.



Ces déplacements sont inversement proportionnels à la section Ω.

Bien que l'on possède peu de données expérimentales sur la détermination du coefficient de glissement transversal, on peut dire avec une assez grande certitude que le coefficient d'élasticité G du glissement transversal, est d'environ le tiers du coefficient E, applicable à l'allongement simple. Le raccourcissement produit par une force normale F, agissant sur une section d'un prisme AM est donc le tiers (1) du glissement transversal, que produirait cette même force agissant comme effort tranchant.

Il s'ensuivrait qu'une force Q ne déplace pas la section suivant sa direction. En réalité, la pratique montre que presque toujours l'effort tranchant est très faible par rapport à l'effort de compression, quand il s'agit de structures en arc. De plus, l'effort tranchant produit des déplacements très faibles comparés à ceux que donnent les moments

(1) Dans la note qu'il avait publiée sur ce sujet, de Dion avait admis que ce rapport était la moitié au lieu du tiers, et dans les leçons sur la résistance des matériaux, il indiquait $G = 0,4$ E. Les expériences les plus importantes sur ce sujet donnent à G la valeur 6 à $6,6 \times 10^9$. Il nous a paru bon de rétablir ici ce chiffre.

fléchissants. On peut donc admettre, sans erreur sensible, que la force Q, produit sur une longueur *da*, un raccourcissement *di*, suivant sa direction. (1)

On a alors :

$$di = \frac{Q\,da}{\Omega E}. \qquad (12)$$

Décomposant Q en une force horizontale N et une force verticale π, et projetant le raccourcissement *di* horizontalement en $di' = CC'$ et verticalement en $di'' = AC'$, on a des triangles semblables qui donnent :

$$di' = \frac{N\,da}{\Omega E}. \qquad (13)$$

$$di'' = \frac{\pi\,da}{\Omega E}. \qquad (14)$$

La projection horizontale du raccourcissement i' de la pièce est donc égale au raccourcissement que prendrait la même pièce suivant son axe neutre, en la supposant comprimée longitudinalement par la force N.

$$i' = \int \frac{N\,da}{\Omega E}. \qquad (15)$$

La projection verticale du raccourcissement est égale à la diminution de longueur de la même pièce, qui se produirait si la force π agissait longitudinalement.

$$i'' = \int \frac{\pi\,da}{\Omega E}. \qquad (16)$$

Nous pouvons maintenant résumer en une seule expression les déplacements d'un point quelconque M d'une pièce, par rapport à une section d'origine O supposée fixe, et dans laquelle la section normale à la pièce ne subit pas de mouvement angulaire. (Voir fig. 2).

Les projections de ces déplacements sur deux axes rectangulaires, seront :

$$\Delta_x = \int_M^O C_y \frac{\mu}{EI} \cdot da + \int_M^O \frac{N\,da}{\Omega E}. \qquad (17)$$

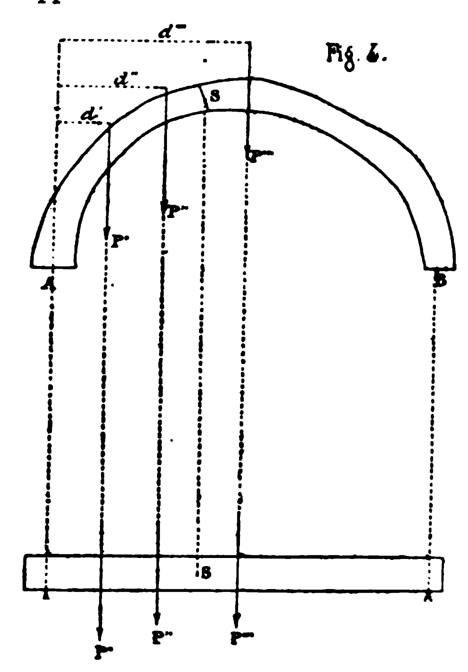
(1) Dans les cas où, par extension, on voudra appliquer cette théorie à des structures en treillis, la proposition énoncée se rapprochera plus de la vérité que dans les pièces pleines. L'effort tranchant n'existe en effet, dans ces cas, que sous forme de forces longitudinales intérieures dans les pièces qui composent le treillis. C'est donc le coefficient E qui devient applicable et non le coefficient G, trois fois plus petit, et les déformations dues aux forces tangentielles et aux efforts tranchants sont proportionnelles à ces deux forces composantes de Q.

$$\Delta_y = \int_M^0 C_x \frac{\mu}{EI} \cdot da + \int_M^0 \frac{\pi\, da}{E\Omega}. \qquad (18)$$

Ces formules établies, nous allons expliquer le mode d'application qui convient pour des arcs ou fermes, dont la fibre neutre affecte une forme quelconque, mais qui reposent sur deux appuis seulement.

Soient P′, P″, P‴, etc...., les forces qui agissent sur la ferme, et que nous supposerons d'abord être des poids verticaux.

A et B sont les axes neutres des sections qui se trouvent en contact avec les points d'appui.



d' d'' d''' sont les distances des poids P′, P″, P‴ à la verticale passant par le point A.

Les réactions des points d'appui sur les pieds de la ferme produisent toujours sur elle des efforts qui peuvent se décomposer :

1° En un moment, que l'on appellera moment d'encastrement;

2° En une force passant par l'axe neutre de la section, et qui pourra se décomposer à son tour en une composante horizontale et en une composante verticale.

Nous appellerons μ_0 N′ et F′ ces trois quantités qui se rapportent à l'appui A et μ'_0 N″ et F″ les quantités analogues qui se rapportent à l'appui B.

Les équations d'équilibre pour l'ensemble de la ferme sont alors :

Pour la projection des forces, $N'+N''=0$. (19)

$$F'+F''-\sum P=0. \quad (20)$$

Pour les moments autour du point B :

$$\mu_0-\mu'_0-\sum_A^B P(l-d)+F'l=0. \quad (21)$$

Si nous considérons une section quelconque de la pièce, S, par exemple, la valeur du moment fléchissant μ en ce point sera :

$$\mu=\mu_0+F'x-\sum_A^S P(x-d)-Ny. \quad (22)$$

N remplaçant les forces N′ et N″ qui sont égales entre elles, d'après l'équation(19).

Dans toutes ces équations il est clair que F′ et F″ sont des fonctions des poids P′, P″ etc., qui agissent sur la pièce, ainsi que des moments μ_0 et μ'_0.

Pour déterminer ces fonctions, comparons les équations d'équilibre ci-dessus, à celles d'une pièce reposant simplement sur deux appuis dont l'écartement l est le même que celui de AB. Chargeons-la des mêmes poids P distribués de la même façon que dans la ferme.

Appelons Q′ et Q″ les réactions correspondantes à F′ et F″ et $\mathcal{M}$ le moment fléchissant dans la section S, qui correspond à S dans la pièce primitive. Nous aurons alors, pour cette nouvelle pièce, une série d'équations similaires aux équations (19) à (21), et qui sont :

$$Q'+Q''-\sum P=0. \quad (23)$$

$$Q'l-\sum_A^B P(l-d)=0. \quad (24)$$

$$\mathcal{M}=Q'x-\sum_A^S P(x-d). \quad (25)$$

Remplaçant dans l'équation (21) le terme $\sum_A^B P(l-d)$ par sa valeur tirée de (24) on a :

$$\mu_0-\mu'_0-Q'l+F'l=0.$$

D'où l'on tire :

$$F' = Q' - \frac{\mu_0 - \mu'_0}{l}. \qquad (26)$$

Remplaçant F' par cette valeur dans l'équation (22) :

$$\mu = \mu_0 - \frac{\mu_0 - \mu'_0}{l} x - \sum_A^S P(x-d) + Q'x - Ny.$$

Prenant dans l'équation (25) la valeur de $-\sum_A^S P(x-d) + Q'x$ qui est $\mathcal{M}$, nous écrivons :

$$\mu = \mu_0 - \frac{\mu_0 - \mu'_0}{l} x + \mathcal{M} - Ny.$$

ou enfin :

$$\mu = \mathcal{M} - Ny + \mu_0 \frac{l-x}{l} + \mu'_0 \frac{x}{l}. \qquad (27)$$

Dans cette expression générale du moment fléchissant, l'on connaîtra toujours $\mathcal{M}$ qui ne dépend que de la répartition des charges et de leur valeur. Les quantités N, μ_0 et μ'_0 au contraire dépendent de la forme de la pièce, et des déformations qui se produisent.

Équations de condition. — Si l'on considère l'ensemble de la ferme que l'on étudie, on trouvera dans les rapports qui existent entre son état primitif et celui qui s'établit après déformation les éléments nécessaires pour déterminer toutes les inconnues. Il faut entendre par état primitif celui qui a précédé tout effort intérieur. Telle est la construction à plat, ou sur échafaudage, d'une charpente de ferme. La déformation a lieu aussitôt que la construction porte son propre poids ou telles autres charges qu'on supposera. Il se produira dès lors des changements d'état qui peuvent se traduire aux extrémités de la pièce de trois manières différentes, savoir :

1° Les sections extrêmes feront avec les directions primitives de ces sections, des angles α_0 et α'_0. Le mouvement angulaire relatif de ces deux sections sera donc $\alpha_0 - \alpha'_0$, et on a, d'après l'équation (4) :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \int_B^A \frac{\mu}{EI} . da. \qquad (28)$$

2° La distance AB ou corde de la ferme, variera d'une certaine

quantité $g - l(1 - \cos \alpha_0)$ si l'on rapporte cette variation à des axes entraînés dans le mouvement de la section A. La valeur de α_0 étant toujours très petite, le second terme sera négligeable, et l'on pourra écrire, d'après l'équation (17) :

$$g = \int_B^A \frac{\mu y}{EI} . da - \int_B^A \frac{N}{\Omega E} da. \qquad (29)$$

3° Les deux points d'appui peuvent n'être plus sur le même niveau. Supposant toujours les axes de la section A entraînés dans le mouvement α_0 de celle-ci, la variation du point B sera $h - l \sin \alpha_0$. Ici encore en raison de la petitesse de α_0 nous pouvons remplacer le sinus par l'arc et écrire, d'après l'équation (18),

$$h - l\alpha_0 = \int_B^A \frac{\mu (l - x)}{EI} . da + \int_B^A \frac{\pi}{\Omega E} da. \qquad (30)$$

Ces formules supposent que l'origine des x et des y est au point A; que les moments sont comptés comme positifs quand ils tendent à ouvrir l'arc, et que les valeurs positives de P sont dans la direction de la pesanteur.

Il faut introduire dans ces trois équations l'expression de μ donnée par l'équation (27), et elles deviennent ainsi :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \int_B^A \frac{\mathcal{M}}{EI} . da - N \int_B^A \frac{y}{EI} . da +$$

$$+ \mu_0 \int_B^A \frac{(l - x)}{EIl} . da + \mu_0' \int_B^A \frac{x}{EIl} . da. \qquad (31)$$

$$g = \int_B^A \frac{\mathcal{M} y}{EI} . da - N \int_B^A \frac{y^2}{EI} . da +$$

$$+ \mu_0 \int_B^A \frac{(l - x) y}{EIl} . da + \mu_0' \int_B^A \frac{xy}{EIl} . da - N \int_B^A \frac{da}{\Omega E} . \qquad (32)$$

$$h - l\alpha_0 = \int_B^A \frac{\mathcal{M}(l-x)}{EI} \cdot da - N \int_B^A \frac{y(l-x)}{EI} \cdot da +$$

$$+ \mu_0 \int_B^A \frac{(l-x)^2}{EIl} \cdot da + \mu_0' \int_B^A \frac{x(l-x)}{EIl} \cdot da + \int_B^A \frac{\pi}{\Omega E} \cdot da. \quad (33)$$

Ces trois équations, parmi les termes nombreux qui les composent, ne contiennent que trois inconnues : N, μ_0 et μ'_0. Nous verrons en effet plus loin que les α, g et h doivent être rangés parmi les quantités connues. Toutes les intégrales sont des quantités déterminées dès que les dimensions de la ferme et les charges qu'elle porte sont connues; elles entrent dans les équations soit à titre de constantes, soit comme coefficients des inconnues. Les termes indépendants des intégrales dépendent des conditions générales dans lesquelles se trouvera placée la ferme.

« Ainsi, dit de Dion, c'est une remarque sur laquelle il est utile d'insister, parce qu'elle n'a pas encore été suffisamment mise en lumière, *le problème général conduit à* TROIS ÉQUATIONS DU PREMIER DEGRÉ A TROIS INCONNUES; *les coefficients qu'affectent ces inconnues sont des intégrales qui dépendent de la forme et des dimensions de la pièce, indépendamment des efforts qu'elle peut avoir à supporter; la constante est une intégrale dépendant des dimensions de la pièce et de la répartition des charges qu'elle supporte.*

Si donc la forme de la pièce et la répartition des charges sont définies par des lois géométriques simples, on pourra intégrer les équations avec exactitude. S'il en est autrement, on pourra toujours les résoudre avec tel degré d'approximation que l'on voudra, à l'aide de constructions graphiques.

C'est dans l'interprétation de ces formules par les procédés graphiques que nous retrouvons un des traits saillants de la pensée de de Dion. Nous avons déjà eu occasion de faire remarquer combien il aimait à *voir* ce qui se passait dans les corps soumis au calcul. Il aimait mieux tracer une courbe que d'aligner des chiffres, et il estimait à juste titre que la mesure d'une surface devait être faite, par l'ingénieur praticien, au moyen du planimètre plutôt que par une formule de Simpson.

Voici donc comment il proposait de se servir des intégrales cidessus :

1° Sur une ligne de base ab, dont la longueur est égale à celle de l'axe neutre développé, on porte, comme ordonnées, les valeurs des infléchissements $\frac{\mathcal{M}}{EI}$ en chacun des points. La surface totale, comprise de a en b, entre la droite ab et la courbe donnera le mouvement angulaire dû au poids seulement. On pourra appeler A cette première surface.

Traitant ensuite de la même manière les différentes quantités $\frac{y}{EI}$, $\frac{l-x}{EIl}$ et $\frac{x}{EIl}$, on obtiendra trois autres surfaces B, C, D, et la première des équations ci-dessus pourra s'écrire :

$$\alpha_0 - \alpha'_0 = A - BN + C\mu_0 + D\mu'_0. \qquad (34)$$

2° Sur les surfaces précédemment obtenues, et dans un plan perpendiculaire au premier, on portera les valeurs de y correspondantes à chaque section. On obtiendra ainsi des volumes qui ont les surfaces A, B, C, D pour bases, et pour hauteurs les ordonnées y. Ces volumes sont positifs quand ils correspondent a des mouvements angulaires positifs et à des ordonnées positives. Cette dernière condition peut être toujours réalisée par le choix de l'origine. Les mouvements angulaires négatifs donnent alors des volumes négatifs. La somme des volumes positifs et négatifs donne pour chaque courbe d'infléchissements, le déplacement horizontal qui en résulte.

On obtient ainsi des volumes A′, B′, C′, D′ qui représentent les intégrales de l'équation (32).

La valeur de l'intégrale $\frac{da}{\Omega E}$. se construit de la même manière en portant sur $a\ b$ des ordonnées égales à $\frac{1}{\Omega E}$; la surface ainsi obtenue mesure le raccourcissement de la corde produit par une compression ou poussée égale à 1 kilog. Nous l'appelons G′. On peut séparer de l'ensemble une portion de la surface limitée par deux ordonnées quelconques. Elle représentera le raccourcissement dû à 1 kilog. de compression, dans la portion limitée par les deux ordonnées extrêmes.

La deuxième équation de condition (32) pourra donc s'écrire ainsi :

$$g = A' - (B' + G')N + C'\mu_0 + D'\mu'_0. \qquad (35)$$

3° Sur les mêmes surfaces résultant du tracé des infléchissements, on portera les valeurs de $l-x$, comme on a porté précédemment les y. On obtiendra ainsi de nouveaux volumes, représentant les coefficients A″, B″, C″ et D″ de la troisième équation de condition (33).

La valeur de $\int \frac{\pi\, da}{\Omega E}$ s'obtiendra d'une façon tout identique en portant sur le développement ab, les valeurs de $\frac{\pi}{\Omega E}$. La surface ainsi obtenue est H″ (1).

Ces valeurs introduites dans l'équation (33) donnent pour celle-ci :

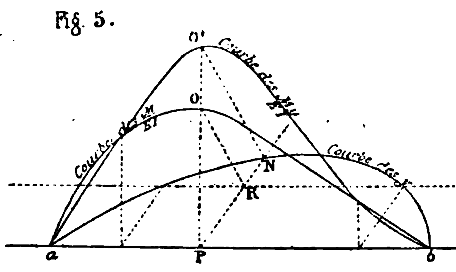
$$h - l\alpha_0 = A'' - B''N + C''\mu_0 + D''\mu'_0 + H''. \qquad (36)$$

Les équations 34, 35 et 36 ne contiennent plus que des valeurs numériques à côté des inconnues N, μ_0 et μ'_0. On peut donc déterminer celles-ci.

(1) Nous croyons devoir faire remarquer ici qu'une nouvelle simplification peut être aisément apportée au calcul des volumes représentant les déplacements, par leur transformation graphique en surfaces. Soit OP une quelconque des ordonnées représentant $\frac{\mathcal{M}}{EI}$ ou l'un des infléchissements analogues. Menons par le pied de l'ordonnée P la droite PN, de direction quelconque et de longueur PN égale à y. Sur cette même droite, prenons PR égal à l'unité. Joignons RO et traçons NO′, parallèle à RO. La longueur PO′ représentera alors le terme $\frac{\mathcal{M}}{EI}\, y$. On a en effet : $\frac{PO}{PR} = \frac{PO'}{PN}$, ou $\frac{\mathcal{M}}{EI} = \frac{PO'}{y}$, d'où $PO' = \frac{\mathcal{M}\, y}{EI}$.

On tracera de même une série d'ordonnées entre a et b, et la courbe obtenue, en joignant tous les points analogues à O_1, limitera une surface qui, planimétrée, donnera la valeur de l'intégrale $\int \frac{\mathcal{M}\, y}{EI}$.

Fig. 5.



On procédera de même pour l'équation (33), en remplaçant y par $l-x$.

Ce procédé évite complètement le calcul long et fastidieux des séries de chiffres qui donnent les volumes successifs indiqués ci-dessus. Il est facile et commode quand il s'agit de la détermination des constantes, c'est-à-dire du calcul s'appliquant à la ferme tout entière. Il n'en est plus ainsi quand il s'agit du calcul des déformations, dont il sera question un peu plus loin, les valeurs de y et de $l-x$ changeant alors pour chacun des points dont on calcule le déplacement. Il faudrait, pour chaque point, refaire une nouvelle épure complète, et il est encore préférable en ce cas de recourir au calcul numérique.

Nous ne saurions trop insister sur l'avantage immense d'un procédé de calcul graphique qui montre de suite, par le caractère des courbes que l'on trace, s'il y a eu des erreurs de chiffres commises, erreurs si faciles à commettre et si difficiles à reconnaître dans tout calcul long et fatigant.

L'équation générale (27) se trouvera maintenant résolue d'une manière complète par l'introduction de ces valeurs de N, μ_0 et μ'_0.

Les trois équations numériques qui servent à déterminer les inconnues sont d'un emploi très pratique. Elles permettent, sans avoir besoin de recommencer le calcul d'aucune des intégrales qui ne contiennent que les éléments géométriques de la construction, de faire toutes les hypothèses que l'on voudra sur les conditions d'établissement de l'ouvrage. On fera, en effet, varier à son gré les hypothèses sur les mouvements angulaires, α_0 et α'_0, et sur les déplacements h et g. Veut-on même changer la distribution des charges, ce ne sera jamais que l'intégrale contenant $\mathcal{M}$ qui sera à calculer à nouveau.

Discussion des équations. — Après avoir établi le procédé de calcul, de Dion passe rapidement en revue, dans sa note, quelques-uns des cas que l'on rencontre dans la pratique, et qui conduisent à des équations simplifiées :

1° La pièce est de forme symétrique par rapport à son milieu. Les coefficients des moments d'encastrement μ_0 et μ'_0 sont alors égaux (Eq. 31 et 32); car l'on a :

$$\int_B^A \frac{(l-x)\,da}{\mathrm{EI}l} = \int_B^A \frac{x}{\mathrm{EI}l}\,da \tag{37}$$

et

$$\int_B^A \frac{y\,(l-x)}{\mathrm{EI}l}\,da = \int_B^A \frac{xy}{\mathrm{EI}l}\,da \tag{38}$$

Donc, dans une pièce symétrique, un moment d'encastrement agissant sur l'une ou l'autre extrémité produira des mouvements angulaires égaux et des variations de corde égales.

Par contre les flèches de B par rapport à A, et de A par rapport à B, ne sont pas égales entre elles.

2° Lorsque la pièce repose sur des tourillons, les extrémités sont libres de tourner, et les moments μ_0 et μ'_0 sont nuls. Les inconnues sont alors α_0 et α'_0. Si l'on ne tient pas à déterminer ces mouvements angulaires, on n'a qu'à résoudre l'équation (32) qui se réduit à :

$$g = \int_B^A \frac{\mathcal{M}y}{\mathrm{EI}}\,da - \mathrm{N}\int_B^A \frac{y^2}{\mathrm{EI}}\,da - \mathrm{N}\int_B^A \frac{da}{\Omega \mathrm{E}} \tag{39}$$

3° Si la distance entre les points d'appui et leur inclinaison coïncident exactement avec les dimensions données à la pièce courbe lors de sa construction, on a :

$$\alpha_0 = o \quad \alpha'_0 = o \quad g = o \quad h = o$$

4° Si, la pièce étant symétrique, la charge est symétriquement distribuée aussi, on aura :

$$\int_B^A \frac{\pi da}{\text{EI}} = o$$

5° Si, en outre, les moments d'encastrement sont égaux ou nuls, et que les points d'appui n'éprouvent pas de déplacements verticaux, ou, ce qui est la même chose, $\alpha_0 = \alpha'_0$ et $h = o$; alors la section du milieu n'éprouve qu'un déplacement vertical sans mouvement angulaire. En rapportant les mouvements à cette section, on a les mouvements réels, le nouvel α_0 de la section du milieu étant nul.

6° Si la pièce est droite, on a $y = o$. Les trois équations fondamentales (31), (32), (33), deviennent alors :

$$\alpha_0 - \alpha'_0 = \int_B^A \frac{\mathcal{M}}{\text{EI}} da + \mu_0 \int_B^A \frac{(l-x)}{\text{EI}l} da + \mu'_0 \int_B^A \frac{x}{\text{EI}l} da. \quad (39)$$

$$g = -\text{N} \int_B^A \frac{da}{\Omega\text{E}}. \quad (40)$$

$$h - l\alpha_0 = \int_B^A \frac{\mathcal{M}(l-x)}{\text{EI}} da + \mu_0 \int_B^A \frac{(l-x)^2}{\text{EI}l} da +$$

$$\mu_0' \int_B^A \frac{x(l-x)}{\text{EI}l} da + \int_B^A \frac{\pi}{\Omega\text{E}} da. \quad (41)$$

Ces trois équations sont celles d'une poutre droite, dans la portion comprise entre deux points d'appui. Si la force N est nulle, si l'on néglige l'effort tranchant π, enfin, si l'on suppose le moment d'inertie

constant, ce qu'on fait trop souvent d'une manière inconsciente, on trouve les équations suivantes :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \frac{1}{EI}\left[\int_B^A \mathcal{M}\, dx + (\mu_0 + \mu'_0)\frac{l}{2}\right]. \qquad (42)$$

$$l\alpha_0 = \frac{1}{EI}\left[\int_B^A \mathcal{M}\,(l-x)\,dx + (2\mu_0 + \mu'_0)\frac{l^2}{6}\right]. \qquad (43)$$

Lorsque la charge de la poutre est uniformément répartie et égale à p on peut remplacer immédiatement $\mathcal{M}$ par sa valeur qui est :

$$\mathcal{M} = \frac{p}{2}x\,(l-x)$$

et

$$\int_B^A \mathcal{M}\,dx = \int_B^A \frac{p}{2}x\,(l-x)\,dx = \frac{pl^3}{12},$$

$$\int_B^A \mathcal{M}\,(l-x)\,dx = \int_B^A \frac{p}{2}\,x\,(l-x)^2\,dx = \frac{pl^4}{24}.$$

Les équations ci-desssus deviendront donc :

$$\alpha_0 - \alpha_0' = \frac{l}{EI}\left[\frac{pl^2}{12} + \frac{1}{2}(\mu_0 + \mu'_0)\right] \qquad (44)$$

$$\alpha_0 = \frac{l}{EI}\left[\frac{pl^2}{24} + \frac{1}{6}(2\mu_0 + \mu'_0)\right]. \qquad (45)$$

Cette valeur de α_0, remplacée dans l'équation (44), donne :

$$\alpha'_0 = -\frac{l}{EI}\left[\frac{pl^2}{24} + \frac{1}{6}(\mu_0 + 2\mu'_0)\right]. \qquad (46)$$

Ces deux équations (45) et (46) peuvent être établies directement, ainsi que l'on sait.

Dans tout ce qui précède, les intégrales s'appliquent à l'ensemble de la pièce, — ferme ou poutre, — attendu qu'il s'agit de déterminer des inconnues qui dépendent de l'effet de chacune des parties de la construction. Mais ces valeurs une fois calculées, on peut déterminer les mêmes inconnues relatives à une section quelconque S, par rapport à une autre section, A par exemple, en intégrant entre S et A les trois

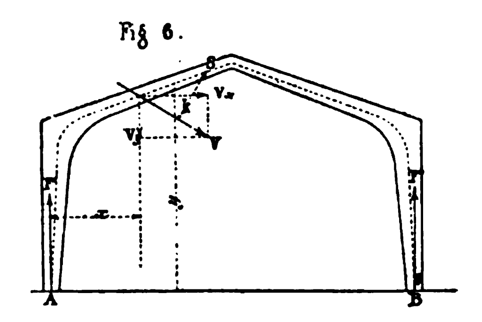
équations (28), (29) et (30). Il faut alors remplacer l par l'abscisse du point S. On calculera ainsi les déformations de la pièce, point par point.

Les forces verticales ne sont pas les seules qui puissent agir sur des fermes ou des arcs reposant sur deux appuis. Le plus souvent il arrive que des forces obliques exercent leurs efforts, comme dans le cas du vent agissant latéralement sur un comble. Dans les calculs ordinaires on transforme ces forces obliques en une charge verticale équivalente, mais c'est là un expédient qui est le plus souvent très loin de la vérité.

La méthode générale trouve ici encore une application facile, que nous allons brièvement exposer, en prenant pour exemple une ferme rigide.

Soit V, l'une des forces que donne le vent sur la ferme ACB. Nous

Fig 6.



pourrons la décomposer en deux pressions : l'une verticale V_y, l'autre horizontale V_x. Les équations d'équilibre deviennent alors :

$$N' + N'' + \Sigma V_x = o \qquad (47)$$

$$F' + F'' - \Sigma V_y = o \qquad (48)$$

$$\mu_o - \mu_o' - \sum_A^B V_y (l - x) + \sum_A^B V_x y + F'l = o. \qquad (49)$$

L'équation générale du moment fléchissant, en un point S, est la suivante :

$$\mu = \mu_o + F' x - \sum_A^S V k - N'y = o. \qquad (50)$$

Nous parviendrons à éliminer F' et F'' de ces équations en comparant la pièce à une ferme de portée AB, ayant mêmes dimensions

que la ferme en question, simplement posée, et sur laquelle agiraient des forces V, égales aux précédentes. Nous supposons qu'un seul des pieds de cette ferme est fixé pour résister à l'effort de translation horizontal, l'autre pouvant se déplacer librement. Les composantes V_x et V_y seraient alors les mêmes. Les équations d'équilibre seraient, comme ci-dessus :

$$Q' + Q'' + \Sigma V_y = o \tag{51}$$

$$Q'l - \sum_A^B V_y (l - x) + \sum_A^B V_x y = o. \tag{52}$$

Le moment fléchissant $\mathscr{M}$, en un point quelconque, sera, en supposant que le pied fixe est le point B :

$$\mathscr{M} = Q'x - \sum_A^S V k = o. \tag{53}$$

Mais on aura évidemment :

$$\sum_A^B V k = \sum_A^B V_y (l - x) - \sum_A^B V_x y.$$

En suivant un procédé analogue à celui qui a été appliqué aux poids verticaux, on aura donc :

$$\mu_o - \mu'_o - Q'l + F'l = o \tag{54}$$

D'où

$$F' = Q' - \frac{\mu_o - \mu'_o}{l}.$$

L'analogie se poursuivant, nous aurons :

$$\mu = \mu_o + Q'x - \frac{\mu_o - \mu'_o}{l} x - \sum_A^S V k - N'y,$$

et enfin

$$\mu = \mathscr{M} - N'y + \mu_o \frac{(l - x)}{l} + \mu'_o \frac{x}{l}. \tag{55}$$

Le même procédé de calcul que dans le cas de forces verticales s'appliquera donc encore ici, la nature des intégrales, qui seule complique le problème, étant comme précédemment définissable par les formes géométriques de la pièce soumise à l'examen.

La flexion plane est l'objet des applications de beaucoup les plus

nombreuses dans la pratique. C'est donc à elle que devaient s'attacher les premières recherches de de Dion. Mais la forme qu'il avait donnée à cette théorie admettait aisément une extension aux cas plus complexes de la déformation des corps, et déjà il avait indiqué sommairement, dans quelques notes, que les corps à double courbure pourraient être soumis au calcul avec la même facilité, sinon avec la même simplicité que les arcs et les poutres droites. Il n'a pas eu le temps d'achever cette étude; elle sera, sans doute, reprise quelque jour comme complément de ses procédés.

Nous devons rappeler ici les occasions que de Dion eut d'employer la méthode qui vient d'être exposée. Ses premières recherches datent du printemps de 1875. Dès le mois de juin de cette année, il put en faire la première application dans l'examen du projet de pont en arc sur le Douro. Calculé suivant une méthode toute différente, cet ouvrage lui fut soumis pour la vérification de la stabilité, en sa qualité de membre de la commission d'examen. Ce calcul, ainsi que ceux qu'il fit à propos du montage du même pont, lui montra, dans l'emploi des tableaux fort longs à établir, des imperfections à éviter. Bientôt après vint une expertise sur la construction d'une halle près de Paris, où l'on avait cru devoir s'abstenir de tout calcul, en raison des formes compliquées et des matières hétérogènes dont se composait le bâtiment. Il y porta la lumière à l'aide de ses procédés et établit son appréciation sur des bases indiscutables, ce qui coupa court à une discussion qui menaçait de s'éterniser.

Mais c'est à l'occasion des constructions de l'Exposition qu'il put appliquer sur une grande échelle, et avec le plus de fruit, sa méthode. Nous montrerons plus loin qu'elle lui permit de réaliser un type de ferme complètement nouveau. Ce que nous devons relever ici, c'est comment, à côté des problèmes courants des constructions métalliques, il trouva le moyen de porter la clarté dans plus d'une question obscure. Telle partie du bâtiment, qui d'après les habitudes ordinaires serait restée sans examen ou bien aurait reçu des dimensions quatre ou cinq fois supérieures à celles qui étaient strictement nécessaires, était réduite par lui à ses justes proportions, et recevait sa forme et ses dimensions les plus rationnelles.

II

Les deux galeries principales de l'Exposition de 1878 avaient chacune une longueur totale de 645 mètres, et une largeur de $36^m,20$. C'étaient, pour la longueur, les plus grandes nefs existantes. Aussi comptait-on beaucoup sur leur puissant effet de perspective et de grandeur pour produire une impression durable sur le visiteur. La proposition de de Dion, tendant à supprimer complètement les tirants intérieurs qui, nécessairement, auraient masqué la perspective, fut donc la bienvenue. La nouveauté, la hardiesse et l'élégance de ce procédé de construction ne laissaient rien à désirer. Le succès a été très prononcé pendant la durée de l'Exposition et nous pensons que, dans l'avenir, le même type sera fréquemment appliqué avec un égal succès.

Lorsqu'il commença l'étude de cette ferme, de Dion n'avait pas encore trouvé la forme définitive de sa méthode de calcul. Il tâtonnait, et nous avons trouvé dans les documents que nous avons pu consulter la trace de plus d'une hésitation. Nous avons cru bon de donner ici, avec les éléments définitifs, le calcul de la construction telle qu'elle existe, en y appliquant les formules que nous avons établies plus haut.

La fig. 1, pl. 140, représente la ferme telle qu'elle a été exécutée. Son ouverture, d'axe en axe des points d'appui, est de $35^m,60$; sa hauteur au faîtage est de $23^m,26$. L'écartement d'axe en axe des fermes est de 15 mètres.

Les efforts dominants dans cette immense pièce devant être ceux de compression, il était naturel de lui donner la forme la plus appropriée à ce genre d'effort, celle d'un caisson. Aussi est-elle constituée partout au moyen de deux membrures, une extérieure et une intérieure, ayant chacune deux âmes, et reliées par un double système de diagonales, appliquées sur ces âmes. Là où la ferme proprement dite se relie aux piliers verticaux, ces diagonales sont remplacées par des âmes pleines, et les piliers se trouvent ainsi formés de caissons fermés rectangulaires. Les semelles des membrures, qui se prolongent jusqu'au pied des piliers, ont toujours 400^{mm} de largeur et une épaisseur variable. Les âmes des membrures ont 200×10 et la réunion de ces âmes aux semelles est faite, pour chacune, par une seule cornière de $\frac{70 \times 70}{8}$.

Les diagonales sont toutes en fer à U de 120mm de hauteur. Nous renvoyons au dessin pour la manière dont se fait la jonction entre l'arbalétrier et le pilier vertical. Au-dessous de la jonction celui-ci est formé de deux âmes de 800 × 8, de deux semelles de 400 de largeur et d'épaisseur variable, enfin de 4 ou de 6 cornières de $\frac{70 \times 70}{11}$. Ces variations résultent des indications fournies par le calcul.

L'appui du pilier sur le sol se fait au moyen d'une semelle en tôle sur laquelle sont rivés, en même temps qu'aux âmes verticales, deux fers à U. Ceux-ci sont, à leurs extrémités, ancrés solidement au massif de maçonnerie au moyen de boulons en fer de 30mm de diamètre. Le serrage de ces boulons assujettit suffisamment le pilier à la maçonnerie pour que l'on puisse considérer la section d'origine comme encastrée.

La largeur du pilier varie aux différents points de sa hauteur. L'élargissement qui se trouve à 7m,75 environ du sol, et à partir duquel commence la ferme, correspond à la passerelle de service longitudinale de la galerie. La ferme elle-même présente à sa partie inférieure une forme légèrement ogivale, forme gracieuse et qui correspond, au faîtage même, à une augmentation de la hauteur, là où le moment fléchissant est le plus grand.

Nous ne nous occuperons pas des pannes qui étaient attachées directement aux montants verticaux de la ferme.

Les charges et surcharges qui peuvent agir sur cette charpente sont les suivantes :

Poids du fer de la couverture, déduit du métré définitif et en négligeant celui des piliers, des verrières et des sablières qui ne produisent aucun effet sur la ferme proprement dite. . . . . 52 kil. p. m. c.

Poids de la couverture en ardoises métalliques et voligeage. 27

79 kil.

Surcharge accidentelle de neige. 40

119, soit 120 kil.

Dans ses calculs préliminaires, de Dion avait admis 130 kilog., ne connaissant encore pas le poids exact qu'atteindrait la ferme.

Ces poids peuvent être supposés concentrés aux points d'attache des pannes. Ils donnent ainsi pour chaque attache une charge de

$$120 \times 1^{m},92 \times 15^{m} = 3\,456 \text{ kil.}$$

La première panne seule porte une largeur de toiture égale à $\frac{2,44 + 1,92}{2} = 2^{m},18$: soit une charge de : $3\,924^{k}$.

Nous supposerons que la toiture porte uniformément et dans toute son étendue la surcharge indiquée. Sauf en quelques points où la fatigue des pièces est très faible, on obtient ainsi partout le maximum des efforts.

Notre but étant de donner un exemple de la méthode de de Dion, nous allons faire suivre ici le calcul complet dans cette hypothèse. Celui de la ferme sous une surcharge dissymétrique ou sous un effort oblique de vent est beaucoup plus long et n'apporte en réalité aucun élément nouveau au résultat du calcul. Il n'en sera pas toujours ainsi et il ne faut pas perdre de vue que les efforts latéraux sont toujours négligés, faute d'une méthode de calcul sûre et pratique. Cette omission pourra maintenant être réparée, grâce à la méthode que nous appliquons ici.

On calculera facilement les moments fléchissants aux différents points d'attache des pannes. La réaction verticale de l'appui, due aux charges appliquées en ces points est :

$$R = 8,5 \times 3456 + 3924 = 29\,376.$$

Les moments aux points d'attache seront donc :

1re panne.	$\mathcal{M} =$ 71 677
2e —	120 545
3e —	162 778
4e —	198 375
5e —	227 337
6e —	249 663
7e —	265 354
8e —	274 409
Faîtage.	276 829

Ces valeurs nous permettront de tracer la courbe qui les représente sur l'épure que nous expliquerons plus loin.

Ainsi que nous l'avons expliqué dans l'appendice n° I, le calcul de la poussée et des moments d'encastrement de la ferme se réduit à la résolution de trois équations portant les numéros 31, 32 et 33. Mais ce calcul oblige à déterminer certaines constantes dépendant de la forme de la construction seulement, et d'autres termes portant sous l'intégrale la valeur des moments $\mathcal{M}$ dont nous venons de calculer la série. Voici comment on peut procéder pour cela.

On divisera en un nombre de parties arbitraire l'axe neutre de la ferme. Nous avons choisi pour ces divisions les points où l'axe est coupé par des normales passant par les *nœuds* de la ferme. Sur la droite $0x$ (fig. 3, pl. 141) on portera la longueur développée de l'axe. Les longueurs successives des divisions sont a, b, c. . . . . y, z, a', b', c'. Les valeurs de I étant connues en chaque point, on portera en ordonnées les valeurs de $\frac{1}{\mathrm{EI}}$. Nous avons pris pour E le chiffre 16×10^9 qui est aujourd'hui fréquemment admis pour les constructions composées de tôles et cornières. Nous avons ensuite tracé une seconde série d'ordonnées, obliques par rapport aux premières et sur lesquelles nous avons porté les longueurs de x, de $l - x$, de y pour chaque point, et nous avons tracé les courbes représentant les séries de ces valeurs. Enfin, la ligne $\alpha\,\alpha'$ est une droite qui donne dans le même système de coordonnées obliques, sur chaque ordonnée, l'unité de longueur.

Il devient dès lors facile de calculer graphiquement pour chaque point les ordonnées réprésentant les diverses valeurs sous les intégrales des équations 31, 32 et 33. Le tracé, indiqué page 446, trouve chaque fois son application et l'on tracera les courbes représentant :

$$\frac{y}{\mathrm{EI}},\ \frac{l-x}{\mathrm{EI}},\ \frac{x}{\mathrm{EI}},\ \frac{y^2}{\mathrm{EI}},\ \frac{(l-x)\,y}{\mathrm{EI}},\ \frac{xy}{\mathrm{EI}},\ \frac{(l-x)^2}{\mathrm{EI}} \text{ et } \frac{x\,(l-x)}{\mathrm{EI}}.$$

On remarquera qu'entre les points a' et r un certain nombre de ces courbes ne sont pas complètement tracées. Ce sont celles où entre le facteur x qui est presque nul dans ces points appartenant au pilier; son influence est de fait extrêmement faible et négligeable dans les sommes que l'on va effectuer par le moyen de ces tracés.

On tracera de même en coordonnées obliques la courbe des $\mathcal{M}$ et l'on s'en servira absolument de la même façon pour calculer les termes

$$\frac{\mathcal{M}}{\mathrm{EI}},\ \frac{\mathcal{M}\,y}{\mathrm{EI}} \text{ et } \frac{\mathcal{M}\,(l-x)}{\mathrm{EI}}.$$

Il ne restera plus à tracer que la courbe ou plutôt les lignes brisées représentant les $\frac{1}{\Omega E}$. Il n'y aura pas lieu, pour le cas qui nous occupe, de faire aucun calcul graphique, le seul terme exigeant l'emploi de cette valeur étant $\int \frac{d\,a}{\Omega E}$.

Les surfaces des courbes ainsi tracées représenteront les intégrales, depuis l'appui O jusqu'au faîtage, des termes indiqués par les ordonnées. Rien n'est plus facile que d'en mesurer la surface au planimètre, et c'est ce qui a été fait. En tenant compte des échelles auxquelles ont été faits les divers tracés on trouve les résultats ci-dessous que nous réunissons en tableau.

Telle n'était pas la méthode suivie dans l'origine pour le calcul des intégrales. On calculait séparément les valeurs $\frac{y\,\Delta\,a}{EI}$, $\frac{x\,\Delta\,a}{EI}$ etc., en donnant à Δa les valeurs numériques des divisions de l'axe neutre. On faisait la somme de tous ces produits, remplaçant ainsi en réalité la surface d'une courbe continue par celle d'une série de rectangles successifs. Quand les divisions sont nombreuses, ce procédé n'a aucun inconvénient, mais il est toujours extrêmement long et sujet à de plus fréquentes erreurs que ne l'est le procédé graphique, où la loi de la continuité assure un contrôle permanent du tracé. Nous avons fait dans le cas actuel le calcul par les deux méthodes et nous en donnons ci-dessous le résultat comparatif.

Nous résumons dans un premier tableau les éléments numériques applicables à la ferme qui nous occupe.

	x	$l-x$	y	$\frac{1}{EI} \times 10^6$	Ω	$\frac{1}{E\Omega} \times 10^6$	I
a	17.50	18.10	23.26	0.00533	0.017824	0.00350	0.011750
b	16.15	19.45	22.76	0.00760	»	»	0.008222
c	15.67	19.93	22.60	0.00883	»	»	0.007080
d	14.19	21.41	22.02	0.01360	»	»	0.004600
e	13.77	21.83	21.86	0.01540	»	»	0.004060
f	12.23	23.37	21.24	0.02105	»	»	0.002970
g	11 86	23.74	21.05	0.02230	»	»	0.002800
h	10.30	25.30	20.38	0.02655	»	»	0.002450
i	9 95	25.65	20.20	0.02655	»	»	0.002450
j	8.40	27.20	19.50	0.02230	»	»	0.002800
k	8.00	27.60	19.28	0.02105	»	»	0.002970
l	6.52	29.08	18.53	0.01552	»	»	0.004002
m	6.10	29.50	18.10	0.01010	0.024828	0.00252	0.006191
n	4.80	30.80	17.70	0.00679	»	»	0.009205
o	4.10	31.50	16.62	0.00463	0.028828	0.00216	0.013436
p	3.18	32.42	16.20	0.00326	»	»	0.019160
q	2.07	33.53	15.08	0.00164	0.034426	0.00181	0.038114
r	1.20	34.40	14.95	0.00078	0.051410	0.00121	0.079903
s	0.86	34.74	13.50	0.00160	»	»	0.038978
t	0.70	34.90	12.52	0.00263	»	»	0.023756
u	0.57	35.03	11.57	0.00377	»	»	0.016587
v	0.50	35.10	10.70	0.00479	»	»	0.013047
x	0.18	35.42	8.60	0.00557	0.052932	0.00118	0.011235
y	0.14	35.46	6.65	0.00698	0.043314	0.00144	0.008957
z	0.15	35.45	5.20	0.00838	0.034476	0.00181	0.007474
a'	0.16	35.44	4.00	0.01675	0.030476	0.00205	0.003731
b'	0.02	35.58	2.80	0.01496	0.033314	0.00188	0.004177
c'	0.07	35.53	1.10	0.01362	0.037314	0.00168	0.004586

Le tableau suivant donne le résultat du mesurage au planimètre des surfaces des courbes représentant les intégrales, ainsi que le résultat des calculs faits par la méthode ordinaire.

DÉSIGNATION DE L'INTÉGRALE.	VALEURS DES INTÉGRALES		OBSERVATIONS.
	Calculées d'après le tracé graphique.	Calculées numériquement.	
$\int \frac{x}{EI} \cdot da$.	0.000002550	0.000002524	On constatera aisément que les écarts entre les chiffres calculés des deux manières sont très faibles, et ne dépassent pas 3 pour 100 de la valeur des nombres eux-mêmes. La méthode planimétrique donne évidemment la plus grande exactitude des deux.
$\int \frac{l-x}{EI} da$. . . .	0.000010520	0.000010793	
$\int \frac{y}{EI} \cdot da$.	0.000005666	0.000005561	
$\int \frac{x^2}{EI} \cdot da$.	0.000029120	0.000028402	
$\int \frac{(l-x)^2}{EI} da$. . .	0.000317200	0.000318962	
$\int \frac{y^2}{EI} \cdot da$.	0.000108320	0.000105152	
$\int \frac{xy}{EI} da$.	0.000052960	0.000051890	
$\int \frac{(l-x)y}{EI} da$. .	0.000147200	0.000151553	
$\int \frac{x(l-x)}{EI} da$. .	0.000061560	0.000061417	
$\int \frac{1}{E\Omega} \cdot da$. . . .	$0.079325 \times \frac{1}{10^6}$	$0.079220 \times \frac{1}{10^6}$	
$\int \frac{\mathcal{M}}{EI} da$. . . .	0.054520	0.055003	
$\int \frac{\mathcal{M} x}{EI} \cdot da$. . .	0.587200	0.595878	
$\int \frac{\mathcal{M}(l-x)}{EI} \cdot da$	1.340800	1.420535	
$\int \frac{\mathcal{M} y}{EI}$	1.121200	1.123500	

Dans tous ces chiffres le dénominateur adopté est $\frac{1}{EI}$. Dans les

termes où le dénominateur sous l'intégrale est $\frac{1}{EI\,l}$ on n'aura qu'à diviser par l le résultat consigné au tableau.

On pourra dès maintenant appliquer ces résultats à la résolution des trois équations générales n°s 31, 32 et 33 qui fourniront les valeurs de N, μ_0 et μ'_0.

L'hypothèse de l'encastrement absolu. aux naissances détermine la valeur des premiers membres des trois équations. La direction de la fibre neutre en ces points étant invariable on a $\alpha_0 = \alpha'_0 = o$. Les points d'appui ne devant subir aucun écartement on a $g = o$. Enfin aucun déplacement vertical des points d'appui ne devant se produire on a également $h - l\,\alpha_0 = o$. On écrira donc, en substituant aux intégrales leurs valeurs données plus haut.

$$o = 0{,}109\,040 - 0{,}000\,011\,332\ N + 0{,}000\,000\,367\ (\mu_0 + \mu'_0). \quad (31)$$

$$o = 2{,}242\,400 - 0{,}000\,216\,640\ N + 0{,}000\,005\,622\ (\mu_0 + \mu'_0)$$
$$- 0{,}000\,000\,159\ N. \quad (32)$$

$$o = 1{,}928\,000 - 0{,}000\,200\,160\ N + 0{,}000\,009\,728\ \mu_0$$
$$+ 0{,}000\,003\,458\ \mu'_0. \quad (33)$$

La résolution de ces équations est facile. Les deux premières donnent :

$$N = 13\,240 \text{ kilog.}$$
$$\mu_0 + \mu'_0 = 111\,700$$

Cette dernière valeur, introduite dans l'équation (33) donne, en résolvant :

$$\mu_0 = 55\,170$$
$$\mu'_0 = 56\,530$$

Or, on remarquera que la ferme elle-même étant symétrique, ainsi que les charges qu'elle porte, il faut, en réalité que $\mu_0 = \mu'_0$. C'est-à-dire que chaque moment d'encastrement devrait être égal à $\frac{111\,700}{2} = 55\,850$. La différence de cette valeur avec celles trouvées,

soit 680, donne la mesure de l'inexactitude qui a pu s'introduire dans le calcul par l'emploi des courbes. Cette différence, qui n'est que de 1,2 p. 100 du chiffre vrai et que l'on pourrait encore diminuer en traçant les épures à une plus grande échelle, nous paraît négligeable, eu égard aux autres incertitudes inévitables qui existent dans le calcul de toute structure métallique.

Connaissant les valeurs de la poussée et des moments d'encastrement, nous pouvons achever le calcul de la ferme en déterminant en chaque point la valeur du moment fléchissant et de la compression tangentielle.

SECTIONS.	$\mathcal{M}$	$\mathcal{M} + \mu_0$ ($\mu_0 = 55850$)	N y.	μ.	$\frac{v}{I}$. Extrados.	$\frac{v}{I}$. Intrados.	$\mu \frac{v}{I}$. Extrados.	$\mu \frac{v}{I}$. Intrados.	T	Ω en millimèt. carrés.	$\frac{T}{\Omega}$.	COEFFICIENTS DE TRAVAIL R. Extrados.	COEFFICIENTS DE TRAVAIL R. Intrados.
a	276500	332350	307962	24388	75.1	75.1	1.83	—1.83	13200	17824	0.74	2.57	—1.09
b	275500	331350	301342	30008	89.1	89.1	2.67	—2.67	13100	»	0.73	3.40	—1.94
c	273600	329150	299224	30126	96.2	96.2	2.89	—2.89	14200	»	0.79	3.68	—2.10
d	267000	322850	291545	31305	123.1	123.1	3.86	—3.86	14200	»	0.79	4.65	—3.07
e	264000	319850	289264	30586	132.1	132.1	4.04	—4.04	15500	»	0.87	4.91	—3.17
f	251000	306850	281217	25633	157.0	157.0	4.04	—4.04	15600	»	0.87	4.91	—3.17
g	248000	303850	278702	25148	163.2	163.2	4.10	—4.10	17000	»	0.95	5.05	—3.15
h	230000	285850	269831	16019	174.1	174.1	2.79	—2.79	17200	»	0.96	3.75	—1.83
i	225500	280350	267448	12902	174.1	174.1	2.25	—2.25	18600	»	1.04	3.29	—1.21
j	202500	258350	258180	170	163.2	163.2	0.03	—0.03	18800	»	1.05	1.08	1.02
k	195000	250850	255267	— 4417	157.0	157.0	—0.69	0.69	20500	»	1.15	0.46	1.84
l	168000	223850	245337	— 21487	131.5	131.5	—2.83	2.83	22000	»	1.23	—1.60	4.06
m	158200	214050	239644	— 25594	117.7	80.6	—3.01	2.06	24100	24848	0.97	—2.04	3.03
n	131500	187350	234348	— 46998	94.6	53.9	—4.43	2.52	25100	»	1.01	—3.42	3.53
o	115000	170850	220049	— 49199	80.0	37.2	—3.94	1.84	27000	28828	0.96	—2.98	2.80
p	92600	148450	214488	— 66038	67.1	30.9	—4.43	2.04	24800	»	0.86	—3.57	2.90
q	58000	113850	199559	— 85709	48.1	18.4	—4.12	1.57	31800	34426	0.92	—3.20	2.49
r	36000	91850	197938	—106088	19.6	17.1	—2.08	1.81	32600	51410	0.64	—1.44	2.45
s	25263	81113	178740	— 97627	29.7	24.4	—2.90	2.38	35100	»	0.69	—2.21	3.07
t	20563	76413	165765	— 89352	42.0	31.2	—3.75	2.78	34800	»	0.68	—3.07	3.46
u	16744	72594	153187	— 80593	53.0	31.8	—4.27	2.56	34300	»	0.67	—3.60	3.23
v	14688	70538	141668	— 71130	62.6	41.8	—4.45	2.97	34200	»	0.66	—3.79	3.63
x	5287	61137	113864	— 52727	75.9	42.6	—4.00	2.25	34150	52932	0.66	—3.34	2.91
y	4112	59962	88046	— 28084	60.8	59.7	—1.71	1.67	34450	43314	0.79	—0.92	2.46
z	4406	60256	68848	— 8592	60.5	51.8	—0.52	0.44	34450	34476	1.00	0.48	1.44
a'	4700	60550	52960	7590	124.5	95.2	0.94	—0.72	37300	30476	1.22	2.16	0.50
b'	597	56447	37072	19375	76.1	122.5	1.47	—2.37	37300	33314	1.12	2.50	—1.25
c'	2066	57916	14564	33352	83.0	98.2	2.76	—3.27	37300	37314	1.00	3.76	—2.27

OBSERVATIONS. — Dans ce tableau les moments fléchissants qui tendent à ouvrir la ferme sont affectés du signe +, ceux qui la ferment ont le signe —. Les coefficients de travail positifs sont ceux de la compression, les négatifs indiquent la tension.

Le tableau qui précède résume ces calculs. Nous renvoyons seulement à l'épure fig. 3, pour la détermination de la compression longitudinale qui se fait graphiquement par le procédé connu du polygone des forces.

En outre des moments et des efforts de compression longitudinale, ce tableau contient les valeurs de $\frac{v}{I}$ et de Ω pour chaque section ; il résume enfin les coefficients de travail dus à ces deux causes et le coefficient total qui en résulte. Ainsi qu'on le voit, ce coefficient est partout faible, restant au-dessous de 5 kilog. par millim. carré.

La construction de la ferme repose donc sur la production aux points d'appui d'un moment d'encastrement qui est toujours en rapport avec les charges réparties sur la toiture. On peut se demander quel serait le résultat de la suppression totale ou partielle de ce moment. Un défaut dans la pose, le tassement des fondations, le serrage mal fait des boulons de scellement, etc., peuvent produire ce résultat, et changer dans une grande mesure les conditions de résistance.

Rien n'est plus facile que d'utiliser dans ce cas les formules générales. Les valeurs μ_0 et μ'_0 étant nulles quand le moment d'encastrement disparaît, la deuxième des équations de condition devient :

$$0 = \int \frac{\mathcal{M} y}{EI} - N' \left[\int \frac{y^2}{EI} da + \int \frac{da}{\Omega E} \right]$$

ou, numériquement :

$$0 = 2{,}242\,400 - 0{,}000\,216\,799\ N'.$$

D'où : $N' = 10\,343$ kilog.

On calculera avec cette nouvelle valeur de N', les termes d'un tableau analogue au précédent et on obtiendra ainsi les valeurs, correspondantes à ce nouveau cas, des coefficients de résistance. Il est inutile de le répéter ici en entier et nous signalerons seulement les résultats principaux.

Au faîtage, les coefficients de travail seront :			$3^k,28$	et	— $2^k,12$
Au point, n	—	—	— $4\ ,10$	et	$3,\ 55$
— v	—	—	— $5\ ,37$	et	$4,\ 66$
— x	—	—	— $6\ ,65$	et	$4,\ 80$

On peut donc dire que dans l'arbalétrier les coefficients augmente-

ront en général peu. Dans le pilier, au contraire, l'augmentation peut être beaucoup plus forte, passant, comme pour le point x, de — 3, 34 à — 6, 65. Malgré cela ces coefficients n'atteindront jamais un chiffre exagéré et si l'encastrement est avantageux, comme diminuant toujours les efforts, sa suppression par suite d'un défaut de montage ne mettra jamais la ferme en péril.

L'expérience a prouvé que les prévisions établies par le calcul ainsi qu'il vient d'être expliqué, étaient parfaitement exactes. Dans toutes ses parties la construction s'est bien comportée, et a donné satisfaction complète à toutes les exigences.

Il serait trop long de donner ici les calculs analogues qui ont été faits sur les effets de la température ou du vent. Ils sont du même ordre que ceux que nous avons exposés, et, au moyen des valeurs des intégrales qui sont données plus haut, il serait facile au besoin de les reproduire.

III

L'étude complète de la grande ferme de l'Exposition avait conduit de Dion à chercher, au moyen d'un type analogue, la réalisation de la même idée, mais d'une façon strictement économique. Il restait convaincu qu'en prolongeant jusqu'aux appuis sur le sol, les arbalétriers eux-mêmes ; autrement dit, en assurant une continuité parfaite entre l'arbalétrier et son piédroit, on pouvait supprimer les tirants usités jusqu'à présent et constituer une ferme légère, facile à construire et facile à mettre en place. Il ne perdait pas de vue, dans cette recherche, la préoccupation de la forme, qu'il voulait à la fois rationnelle et élégante. L'occasion d'appliquer le type qu'il avait en vue ne tarda pas à se présenter. L'insuffisance reconnue du bâtiment principal de l'Exposition, pour contenir toutes les machines annoncées, décida la direction à construire le long de l'avenue de Labourdonnaye, un bâtiment annexe, coupé seulement au milieu de sa longueur par les bureaux de l'administration. C'est là que de Dion put appliquer son projet nouveau. Il soigna tout particulièrement tous les détails de cette construction, et il obtint de la direction que l'agencement entier, la déco-

ration et jusqu'à la peinture lui fut confiée. Il désirait fournir un exemple pour prouver qu'avec les moyens les plus simples, les moins coûteux, on pouvait obtenir un effet satisfaisant. Il voulait réaliser enfin une fois son idée fixe : que les éléments constitutifs d'un bâtiment fournissent les principales ressources pour l'effet d'ensemble, et que les éléments décoratifs peuvent être réduits à une si faible importance qu'ils n'entrent pour ainsi dire plus en ligne de compte comme dépense. C'était là pour lui, le principe de la construction rationnelle.

L'annexe de la galerie des machines fut donc formée d'une série de fermes espacées de 5 mètres, et ayant chacune $24^{m},80$ de portée extérieure. Ces fermes portaient une série de pannes en bois, espacées de $1^{m},480$ et qui servaient d'appuis pour le voligeage. La couverture était en ardoises métalliques de Montataire. La largeur extérieure, mesurée en dehors des piédroits des fermes était de 24 mètres, et de chaque côté un auvent portait la largeur totale de la surface couverte à 27 mètres.

La charpente reçut une forme que l'on pourrait presque appeler ogivale, ses lignes intérieures étant des droites inclinées, raccordées par une courbe de grand rayon. A l'extérieur le piédroit est vertical et l'arbalétrier rectiligne. La largeur de la pièce continue ainsi constituée augmente depuis le pied jusqu'à l'angle situé à la naissance de l'arbalétrier, pour diminuer de nouveau jusqu'au faîtage. En ce point également la pièce est continue.

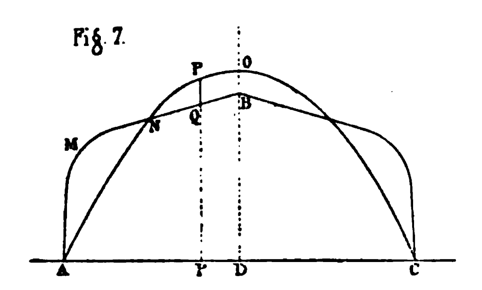
Les fers constituant la ferme sont, pour les membrures intérieures et extérieures, deux cornières, de $\frac{60 \times 60}{8}$. Dans les piédroits ces cornières sont renforcées par des âmes de 160×8^{mm}. La réunion des membrures se fait par une série de croix de Saint-André, dont l'une des branches est une cornière de $\frac{45 \times 60}{7}$, l'autre un fer plat de 60×8. Dans l'arbalétrier le treillis est formé d'une série de N, en cornières pour les barres verticales, et de fers plats de section variable pour celles qui sont inclinées. Les montants servent directement à l'attache des pannes en bois. Au faîtage ainsi qu'au pied, des goussets ayant toute la largeur de la poutre réunissent les membrures. A l'angle de rencontre des membrures extérieures une âme en tôle assemble les cornières afin d'obtenir en ce point un surcroît de résistance, et afin d'accuser à l'œil ce renforcement.

Ainsi constituée, la ferme est extrêmement légère, et rigide en même temps. Nous rendrons compte plus loin de sa résistance; mais il convient de dire ici dans quelle mesure elle est économique. — Il avait été question de construire d'abord ces annexes entièrement en bois et des propositions avaient été faites par divers entrepreneurs. Les prix demandés variaient de 20 fr. 60 c. à 35 francs par mètre carré, ces prix comprenant la charpente, la couverture, le vitrage du lanterneau et les deux parois longitudinales en bois. Le projet exécuté dont les fermes sont en fer ainsi que nous venons de le dire, et qui a, en outre du lanterneau, de larges baies vitrées de l'un des côtés de la halle, ne coûta, tout compte fait, que 28f le mètre carré. En tenant compte du prix de revente des matériaux, il y avait donc, dans ce projet, une réelle économie.

Le dessin de l'annexe rendra compte de la forme agréable de l'ensemble de ce bâtiment; mais nous voudrions, en passant, attirer l'attention sur le détail, très heureusement trouvé, des portes d'entrée principales. Leur forme originale, s'harmonisant bien avec le profil général des pignons où elles se trouvaient, est bien dans l'esprit de tout le reste. Si ce petit bâtiment, au lieu d'être une simple annexe, placée dans un coin perdu et servant de clôture au parc, avait été l'un des seuls bâtiments de l'Exposition, nul doute qu'il ne fût déjà signalé comme un type digne d'être imité, et de se trouver classé parmi les formes à employer d'une manière usuelle. La simplicité de la forme, l'absence de toute pièce forgée analogue aux tirants des fermes Polonceau, enfin le grand espace libre intérieur que laisse la construction le feront certainement imiter, et nous pourrions citer un certain nombre de cas où déjà il a trouvé son application.

Si une ferme de ce genre avait été imaginée il y a seulement 10 ans, il est probable que l'on eût reculé devant son emploi, à cause des difficultés qu'eût occasionnées le calcul. La pièce courbe passe, depuis que l'on calcule rationnellement la résistance des constructions, pour une difficulté particulière, et cela d'autant plus que la forme et les sections sont plus irrégulières. Aussi, en combinant les dispositions de sa ferme, de Dion avait-il cherché à résoudre cette difficulté par un procédé simple et pratique. Peu partisan du travail du métal à une fraction de kilog. près, il aimait à rappeler que le coefficient variait suivant les pays et les habitudes, depuis 6 jusqu'à 12 kilog. par millim. carré. D'autres conditions, comme celle de la rigidité et de la simpli-

plicité de construction avaient pour lui une grande importance, et pourvu qu'on se tînt dans une limite raisonnable, il se déclarait satisfait. Agir ainsi, c'était chez lui de la largeur de vues, et non du laisser-aller. Il chercha donc, dans l'interprétation du tracé graphique de la pièce qu'il s'agissait de construire, une indication suffisante de sa



résistance. Dessinant sur l'épure même de la ferme, la courbe représentative des moments dûs aux poids, charges et surcharges, il remarquait que le choix d'une échelle convenable pour ce tracé donnait immédiatement les moments fléchissants réels dans la ferme. Reprenant l'équation de condition que nous avons déjà eu occasion de signaler qui exprime que l'écartement des naissances est nul, et qui s'écrit ainsi : $\Sigma \frac{\mu y}{EI} \Delta a - \Sigma \frac{N}{\Omega E} \Delta a = 0$, il cherchait à l'interpréter avec une exactitude suffisante au moyen de l'épure. Il négligeait dans cette considération le second terme qui exprime le raccourcissement dû à la compression tangentielle, raccourcissement très faible dans la presque totalité des cas. Le moment μ, est la différence entre $\mathcal{M}$, le moment dû aux poids et N y celui dû à la poussée. Ce dernier est représenté à une certaine échelle par la fibre neutre ABC, et si $\mathcal{M}$ était tracé à la même échelle, le moment μ serait représenté par l'ordonnée PQ, par exemple, différence entre les ordonnées PP' et P'Q.

C'est cette valeur qu'il faudrait introduire dans la formule rappelée ci-dessus, et qui, traduite graphiquement, donnerait une courbe telle que celle qui est représentée par la fig. 8.

L'axe AB est le développement de la fibre neutre de la pièce et les ordonnées représentent les valeurs successives de $\frac{\mu y}{I}$, le diviseur E

étant constant pour tous les points en raison de l'homogénéité de la ferme. La formule exige que les surfaces A M N et N B O soient égales entre elles pour que leur somme soit nulle.

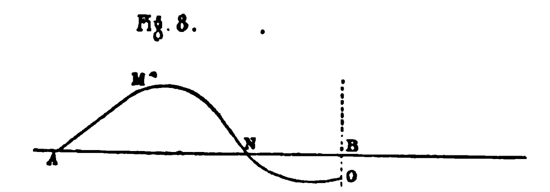


Fig. 8.

Mais ce calcul est encore bien long quand il s'agit de constructions d'une faible importance. Voici comment on peut, avec une approximation très suffisante la plupart du temps, le remplacer. — On remarquera, si l'on a acquis une certaine habitude des tracés de ce genre, que le point N, où le moment fléchissant est nul, ne varie de position que dans des limites très faibles. Sa position est toujours voisine du tiers ou du quart de l'ouverture totale AC. De plus, on juge facilement, à la simple inspection si les surfaces AMN et N B O (fig. 7), sont dans un rapport tel que leurs homologues dans le tracé exact (fig. 8) soient près d'être égales. On tracera donc au jugé la courbe des moments fléchissants AN PO, et si ce procédé, soit à cause de l'inexpérience de l'opérateur, soit à cause d'une forme de construction par trop inconnue ou par trop capricieuse, laisse des doutes, il conduira toujours à une vérification facile qui permettra de rectifier les données et d'arriver la seconde fois à peu près à coup sûr.

Le tracé que nous venons d'indiquer une fois fait, on en déduira facilement la poussée et la valeur du moment μ. Si la charge est supposée uniformément répartie, la courbe AN PO sera une parabole, dont l'ordonnée du milieu D O est déterminée par la relation connue $\mathcal{M} = \frac{pl^2}{8}$. Si les charges sont variables ou concentrées en des points différents on tracera encore, et de préférence par les procédés graphiques, la courbe des moments fléchissants à une échelle quelconque. On agrandira ou diminuera l'échelle de la courbe de façon à assurer la relation entre les surfaces positives et négatives dont nous avons parlé. Dans tous les cas les ordonnées de la courbe des moments seront connues et en particulier celle du milieu. On en déduira l'échelle de

l'épure qui sera aussi celle des moments Ny, et enfin celle des moments P Q. Dès lors il ne reste plus aucune difficulté pour proportionner la section à la valeur de ce moment.

Connaissant la valeur de Ny, la poussée N sera elle-même connue. On en déduira le maximum de la compression tangentielle en la projetant sur la direction de l'arbalétrier et l'on aura ainsi la seconde des deux quantités qui déterminent la section de la pièce.

Le procédé que nous venons d'exposer n'obtiendra peut-être pas l'approbation des personnes habituées à calculer les constructions métalliques avec un très grand degré de précision. On lui reprochera de reposer sur des données trop vagues, et sur une expérience personnelle que tout le monde n'a pas le loisir d'acquérir. On trouvera, croyons-nous, après un seul essai que ces reproches sont peu fondés, et que son emploi est à la fois facile et d'une sécurité bien suffisante pour des constructions telles que les charpentes métalliques, ou des ponts de moindre importance. Son exactitude devient contestable quand la fibre neutre est voisine de la courbe des moments. Il faut alors recourir au calcul complet, mais dans ce cas on peut remarquer que la valeur de la compression tangentielle (déduite de la poussée) a une influence prépondérante. Or, celle-ci se déduira toujours avec une grande approximation du procédé sommaire dont il s'agit.

Quoi qu'il en soit, on peut dire qu'avec un peu d'expérience ce procédé donne des résultats qui diffèrent peu des résultats précis donnés par le calcul complet. Quand on pense que le coefficient du travail du métal peut impunément, dans les constructions non soumises à des chocs, être porté de 6 kilog. à 8 kilog., on trouvera qu'il y a dans son emploi une exactitude bien suffisante pour être rassuré sur ses conséquences.

Le calcul de la ferme de l'annexe des machines a été fait ainsi que nous venons de le décrire. Elle a été construite sur les données fournies par ce calcul, et des épreuves fort intéressantes ont été faites sur la première pièce achevée, avec un résultat entièrement satisfaisant. Il nous a paru qu'il valait la peine de faire en entier le calcul de cette ferme afin d'en comparer les résultats avec ceux acquis par la première méthode et c'est ce que nous allons maintenant exposer.

Le poids qu'aurait à supporter la charpente de ce bâtiment a été estimé à 96 kilog. par mètre carré, savoir :

Ossature métallique.	15	kilog.
Pannes en bois et plancher en voliges.	33	
Couverture en tuiles métalliques.	8	
Surcharge de neige ou de vent.	40	
Total.	96	kilog.

Les fermes étant espacées de 5 mètres, la charge par mètre courant est donc évaluée à 480 kilog.

Le moment fléchissant d'une pièce reposant librement sur deux appuis et ayant la portée de la ferme, soit $23^m,40$ sera, en son milieu :

$$\mathcal{M} = \frac{480 \times \overline{23,4}^2}{8} = 32\,854.$$

En faisant l'épure indiquée plus haut, et qui se trouve reproduite sur la fig. 4, pl. 141, où la courbe est tracée en pointillé, on reconnaît que l'échelle à laquelle se trouve tracée la parabole est de $3^{mm},7$ pour 1,000 de moment. Dans ces conditions, la valeur de Ny mesurée au sommet de la ferme est de 30200, et la valeur de μ moment effectif dans l'arbalétrier, de 2 654.

Puisque la hauteur de la ferme est de $11^m,25$ au faîtage, on en déduira de suite que la valeur de la poussée N est :

$$N = \frac{30\,300}{11,25} = 2\,690.$$

On pourra donc calculer immédiatement les efforts intérieurs qui se produisent aux points les plus intéressants, c'est-à-dire les naissances des arbalétriers et le faîtage.

Fig. 9.

Au premier de ces points, la section de la ferme est celle indiquée par le croquis. Elle donne $\Omega = 0,006\,144$.

$$\text{et} \qquad \frac{I}{v} = 0,004\,254.$$

Mesuré à l'échelle, le moment en ce point est 14620. La compression longitudinale, qu'il n'est pas possible d'évaluer très exactement, la pièce faisant en

cet endroit un jarret, peut être estimée d'après le tracé graphique, à 5800^k.

Le coefficient de travail maximum serait donc :

$$R_1 = \frac{14620}{4254} + \frac{5800}{6144} = 3^k,44 + 0^k,95 = 4^k,39.$$

Au faîtage, la hauteur de l'arbalétrier est de 0^m,45, ce qui donne, en négligeant le gousset d'assemblage :

Fig. 10.

$$\Omega = 0,003\,584$$

$$\frac{I}{v} = 0,000\,683.$$

Le coefficient de travail serait donc :

$$R_2 = \frac{2654}{6,83} + \frac{3000}{3854} = 3^k,85 + 0^k,78 = 4^k,63.$$

Dans tous les autres points de la ferme, les coefficients sont moindres.

Nous allons voir si ces résultats numériques sont confirmés par l'examen complet de la ferme.

A cet effet, nous partageons l'axe neutre en un certain nombre de parties qui ne seront pas égales entre elles, mais qui correspondent plutôt aux divisions naturelles que forment les pannes. Le tableau suivant résume les éléments qui résultent de cette division et qui sont nécessaires au calcul.

NUMÉROS DES SECTIONS.	ORDONNÉES		LONGUEURS de l'axe neutre correspondant à chaque point	SECTIONS ne comprenant pas le treillis.	$I \times 10^6$	$\frac{ay}{EI}$
	x	y	Δa	Ω		$(E = 16 \times 10^9)$
0	0					
1	0.065	2	3m	0.006 144	464.7	806.9
2	0.06	4	2.10	0.006 144	626.7	937.5
3	0.38	6.18	2.34	0.006 144	3297.0	274.4
4	2.65	7.36	2.05	0.003 584	339.0	278.1
5	4.55	8.00	1.62	0.003 584	306.7	263.7
6	5.65	8.65	1.62	0.003 584	273.4	320.0
7	7.15	9.30	1.62	0.003 584	237.9	395.6
8	8.65	9.94	1.60	0.003 584	213.0	472.5
9	10.05	10.56	1.68	0.003 584	188.1	588.7
10	11.70	11.25	0.90	0.003 584	154.8	408.7

Cherchons d'abord quelle est la quantité dont varierait l'écartement des pieds de la ferme pour une poussée N égale à 100 kilog. par exemple. Nous dressons à cet effet le tableau suivant, dans lequel les valeurs de μ sont égales à 100 y.

NUMÉROS DES SECTIONS.	μ	$\mu \frac{ay}{EI} \cdot 10^3$	Δa	Ω	$\frac{Na}{\Omega E} \cdot 10^6$
1	200	0.16	3	0.006 144	0.003
2	400	0.33	2.10	»	0.002
3	618	0.17	2.34	»	0.002
4	736	2.04	2.05	0.003 584	0.004
5	800	2.11	1.62	»	0.003
6	865	2.77	1.62	»	0.003
7	930	3.68	1.62	»	0.003
8	994	4.69	1.60	»	0.003
9	1056	6.21	1.68	»	0.003
10	1125	4.59	0.90	»	0.001
Total pour la flexion....		26.75	Pour la compression..		0.027

La variation de la demi-ouverture, pour une poussée de 100 kilog. serait donc de 0,026 750 + 0,000 027 = 0m,026 777.

Nous disposerons d'une manière analogue, dans le tableau suivant, les valeurs relatives à la variation de la corde, sous l'effet des poids

uniformément répartis, et en supposant N=*o*. Les termes relatifs à la compression horizontale disparaissent alors.

NUMÉROS DES SECTIONS.	$\mathcal{M}$	$\frac{ay}{EI}$	$\frac{\mathcal{M}ay}{EI} \cdot 10^3$
1	80.8	806.9	0.1
2	323.1	937.5	0.3
3	2017.2	274.4	0.5
4	12624.6	278.1	35.1
5	18276.6	263.7	48.3
6	22872.6	320.0	73.1
7	25380.6	385.6	100 5
8	28752.6	472.5	135.8
9	30029.4	588.7	176.8
10	32854.0	408.7	134.5
	$\Sigma \frac{\mathcal{M} a y}{EI}$		705.0

La poussée qui annulerait cette augmentation de la corde serait :

$$N = 100 \times \frac{705}{26{,}827} = 2\,632^{k}.$$

Notre calcul approximatif, tel qu'il a été indiqué plus haut, nous avait donné pour valeur de cette poussée 2 690 kilog., soit une différence en trop de 58 kilog. ou 2 pour 100 seulement.

Le moment fléchissant réel au sommet sera donc :

$$\mathcal{M} = 32854 - 2632 \times 11^{m},25 = 3244.$$

Le coefficient de travail maximum au faîtage sera ainsi :

$$R = \frac{3244}{688} + \frac{2632}{\cos\alpha. \times 3854} = 4{,}72 + 0{,}74 = 5^{k},46.$$

α étant égal à 21° 43′.

On trouvera, tracée sur l'épure, la parabole des moments fléchissants à l'échelle convenable, telle qu'elle résulte de l'application au tracé géométrique de la valeur de N trouvée ci-dessus. Cette échelle est de $3^{mm},8$ pour 1000 du moment.

On s'assurera aisément qu'en chaque point la valeur du moment de résistance de la ferme est suffisante pour résister aux efforts extérieurs.

Les fermes ainsi calculées et construites furent soumises à une série d'expériences pour la vérification de leur résistance. L'une d'elles, dressée et assemblée avec ses voisines, fut chargée de manière à présenter les conditions les plus variées de dissymétrie et les déformations en furent exactement observées en un grand nombre de points. On put s'assurer ainsi de la manière parfaitement régulière dont se produisaient les divers phénomènes de déformation et de redressement. Les valeurs trouvées et celles calculées pour les déplacements des divers points concordaient d'une manière très satisfaisante. De Dion obtint ainsi la sanction pratique de ses calculs, sanction confirmée peu de temps après par l'approbation de tous ceux dont l'attention fut dirigée sur les nouveaux modes de construction inaugurés par l'Exposition.

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(MAI ET JUIN 1879)

N° 52

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Eiffel, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur le *Pont du Douro à Porto*, et un exemplaire d'une brochure sur l'*Écluse à grande dénivellation, système Pouchet et Sautereau.*

De M. Rambaud, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur les *Meules artificielles.*

De MM. Payras et Pigeon, ingénieurs, un exemplaire d'une note intitulée : *Dormeuse des Chemins de fer.*

De M. E. Simon, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur l'*Unification du numérotage des fils.*

De M. Poillon, membre de la Société, un exemplaire d'une *Visite aux Pompes de l'Exposition de* 1878.

De M. Penaud, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur l'*Aviation, appareil de vol mécanique.*

De M. Servier, membre de la Société, un exemplaire de sa conférence sur l'*Éclairage à l'Exposition de* 1878.

De M. Carré, ingénieur, un exemplaire sur le *Mode de concession et d'exécution à préférer pour la construction et l'exploitation des nouvelles lignes ferrées.*

De M. Lucien de Puyot, ingénieur, un exemplaire d'une brochure intitulée : *International Company of the Columbian Ship canal.*

De M. Jules Garnier, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure intitulée : *La Nouvelle-Calédonie à l'Exposition de* 1878.

De M. E. Gaertner, ingénieur, un exemplaire d'une brochure ayant pour titre : *Entwickelung der pneumatischen fundirungs-methode und Beschreibung der elbebrücke Lauenburg.*

De M. Brissonneau, constructeur, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur leurs établissements de *Constructions mécaniques.*

De MM. Pouchet et Sautereau, ingénieurs, membres de la Société, un exemplaire des Notes et documents présentés au Congrès de Géographie, le 15 mai 1879, sur le *Canal interocéanique du Nicaragua.*

De MM. Muller et Cacheux, membres de la Société, un exemplaire de leur ouvrage sur les *Habitations ouvrières en tous pays.* Texte et Atlas.

De M. Julien Vogel, agent général de la Nouvelle-Zélande, un exemplaire d'une brochure sur la soumission d'une production sur place de 100,000 *tonnes de rails d'acier*.

De M. Lencauchez, membre de la Société, une Note sur la *Dissociation de l'acide sulfureux* SO^2 *dans l'affinage sur parois basiques*.

De M. Bidou, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Restes de l'âge de pierre dans la province de Chieti* (Abruzzes).

De M. Abel Pifre, membre de la Société, un exemplaire de sa conférence sur l'*Utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire*.

De M. Forquenot, membre de la Société, un exemplaire du compte rendu des opérations du service du *Matériel et de la traction*, pendant l'année 1878. (*Chemin de fer de Paris à Orléans*.)

De M. L. Dupuy, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur un *Chemin de fer industriel à voie étroite établi provisoirement dans la ville de Marseille, pour les travaux du port*.

De M. Sautereau, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur les *Chemins de fer d'intérêt local. Réseau Romorantinois*.

De M. Cacheux, membre de la Société, un rapport sur les *Habitations ouvrières exposées en* 1878.

De M. André, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur l'*Eau* (*Caractères des eaux potables, distribution de l'eau dans les villes*).

De M. Hanrez, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur une *Pompe à comprimer l'air*.

De M. S. Czyszkowski, membre de la Société : 1° un exemplaire d'une note sur l'*Exploration géologique de la région ferrifère du Canigou* (Pyrénées-Orientales) ; 2° un exemplaire sur l'*Exploration géologique de la région ferrifère de Bilbao Somorrostro* (Espagne).

De M. Paul Barbe, membre de la Société : 1° un exemplaire d'une notice sur l'*Emploi simultané de la dynamite dans les mines;* 2° un exemplaire d'une notice : *Études sur la gélatine explosive*.

De M. Paul Terrier, membre de la Société, un exemplaire de la traduction qu'il a faite de l'ouvrage de M. Antonio Favaro : *Leçons de statique graphique*.

Académie royale des Lincei, son bulletin.

Academia di Scienze, Lettere ed Arti, son bulletin.

Academy american of arts and sciences, son bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne.

Annales industrielles, par Cassagne.

Annales des ponts et chaussées.

Annales des mines.

Annales du Génie civil.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.

Annales de la construction (Nouvelles), par Oppermann.

Annales des chemins vicinaux.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, son Bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, son bulletin.

Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, son bulletin.

Association des Ingénieurs industriels de Barcelone, son Bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine.

Canadian Journal of science, litterature, and history.

Chronique (La) *industrielle*, Journal technologique hebdomadaire.

Comité des forges de France, son bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Courrier municipal (Journal).

Dingler's Polytechnisches (*Journal*).

Écho Industriel (Journal).

Économiste (L') (Journal).

Encyclopédie d'architecture.

Engineer (*The*) (Journal).

Engineering (Journal).

Engineering News an Illustrated Weekly Journal (de Chicago).

Gazette des Architectes (La).

Gazette du Village (La).

Institution of civil Engineers, leurs *Minutes of Proceedings*.

Institution of Mechanical Engineers, son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, leurs *Transactions*.

Iron of science, metals et manufacture (Journal).

Iron and Steel Institute (*The Journal of The*).

Journal d'Agriculture pratique.

Journal des Chemins de fer.

Houille (*La*) (Journal).

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, leur bulletin.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, son bulletin.

Mondes (*Les*) (Revue).

Moniteur des chemins de fer (Journal).

Moniteur industriel belge (Journal).

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture (Journal).

Moniteur des travaux publics (Journal).

Of the American Society of Civils Engineers Journal.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Journal).

Politecnico (*Il*) *Giornale dell' ingegnere Architetto civile ed industriale*.

Portefeuille économique des machines, par Oppermann.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, leur bulletin.

Propagateur (*Le*) *de l'Industrie et des Inventions* (Journal).

Réforme économique (Revue).

Revue métallurgique (*La*) (Journal).

Revue des chemins de fer et des progrès industriels.

Revue maritime et coloniale.

Revue d'architecture.

Revista de obras publicas.

Revue des Deux-Mondes.

Revue horticole.

Revue générale des chemins de fer.

Revue technique polonaise.

Revue universelle des mines et de la métallurgie.

Revue des Industries chimiques et agricoles.

Semaine des constructeurs (La) (Journal).

Semaine financière (Journal).

Société de Physique, son bulletin.

Société of télégraph Engineers (Journal of the), leur bulletin.

Société des Ingénieurs anglais, lèurs *Transactions.*

Société industrielle de Reims, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société industrielle de Mulhouse, son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, son bulletin.

Société d'encouragement, son bulletin.

Société de géographie, son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, son bulletin.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, son bulletin.

Société scientifique industrielle de Marseille, son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, son bulletin.

Société académique d'agriculture, des ciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, Revue périodique.

Société industrielle de Rouen, son bulletin.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France, son bulletin.

Société des Études coloniales et maritimes, son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, son bulletin.

Société de Géographie de Marseille, son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu.

Union des charbonnages, mines et usines métalliques de la province de Liége, son bulletin.

Union céramique et chaufournière de la France, son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de mai :

MM. Albaret, présenté par MM. Albaret Eugène, Brüll et Eiffel.
Coignet, présenté par MM. Asselin, de Bonnard et Paul Dubos.
Fortin, présenté par MM. Cornuault, Jordan et Richou.
Fraix, présenté par MM. Bergeron, Bobin et John Hawkshaw.
Herpin, présenté par MM. Asselin, de Bonnard et Derennes.
Lambert, présenté par MM. Agnès, Bourdais et Muller Émile.
Métivier, présenté par MM.Bourdais, Demimuid et Muller Émile.
Richard, présenté par MM. Guérin, Jaunet et Lippmann.
Rouché, présenté par MM. Chabrier, Gressier et Hallopeau.
Schaller, présenté par MM. Desgrange, Gottschalk et Ubags.
Sedille, présenté par MM. Bourdais, Demimuid et Muller Émile.
Des Tournelles, présenté par MM. Carimantrand, Llamas et Simon.

Au mois de juin :

MM. Avril, présenté par MM. Barrault, Love et Molinos.
Basiliadès, présenté par MM. Casalonga, J. Farcot et Mécus.
Berthon, présenté par MM. Badois, Chabrier et Hallopeau.
Blanchet, présenté par MM. Carron, Cornier et Farcot Paul.
Cahen-Strauss, présenté par MM. Armengaud J. fils, Mardelet et E. Simon.
Cahen Albert, présenté par MM. Douau, Regnard et Suc.

MM. Guigon, présenté par MM. Casalonga, Hignette et Raffard.
Normand, présenté par MM. Chabrier, J. Gaudry et Pérignon.
Sautereau, présenté par MM, Fichet, Muller E. et Pouchet.

Comme Membre Associé :

M. Franck, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Péreire Eugène.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IIIe BULLETIN DE L'ANNÉE 1879

Séance du 2 Mai 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 avril est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Fillon.

La parole est donnée à M. Le Cordier, pour une communication sur les voitures à vapeur du système A. Bollée.

M. LE CORDIER rappelle que pendant le cours de l'Exposition universelle les voitures à vapeur à grande vitesse, inventées et construites par M. Amédée Bollée, du Mans, ont fait environ 50 promenades entre le Trocadéro et Sèvres, sur le macadam, sans aucune voie spéciale. M. Bollée et M. Le Cordier s'étant prêté depuis plusieurs années un concours réciproque, ce dernier s'est fait le promoteur des applications industrielles du système, et s'en est assuré le monopole.

L'une des voitures exposées, un break de chasse à 14 places, a déjà été décrite par M. Tresca dans la séance du 2 novembre 1875 de l'Académie des sciences. Depuis cette époque d'immenses progrès ont été réalisés, ainsi que le montre la seconde voiture exposée, qui présente l'aspect d'une victoria ordinaire.

M. LE CORDIER en donne la description en ayant égard aux nouveaux perfectionnements qui lui ont encore été apportés depuis l'Exposition. Il présente les plans et photographies des deux voitures exposées, et ceux de deux autres voitures à vapeur, l'une pour 30, l'autre pour 36 voyageurs.

a victoria d'Exposition a en arrière une chaudière Field de 4 mètres

carrés, et en avant une machine à deux cylindres de $0^m,15 \times 0^m,20$, protégée contre la poussière par une caisse fermée. Le mouvement est donné à un arbre longitudinal, puis, par une paire d'engrenages coniques transmis à un arbre transversal intermédiaire, aux extrémités duquel des chaînes de Galle le communiquent aux roues motrices. Un mouvement différentiel est interposé dans l'arbre intermédiaire afin que les roues motrices soient indépendantes : voilà tout le mécanisme, qui se distingue par la perfection avec laquelle il est exécuté et par la disposition nouvelle des chaînes de Galle qui ne peuvent s'allonger et qui ne se sont encore jamais brisées. Ce qu'il y a d'intéressant dans cette routière, c'est d'abord qu'elle est suspendue sur des ressorts très longs et très flexibles, et ensuite que son avant-train est disposé d'une manière tout à fait nouvelle. Point d'essieu : chaque roue d'avant pivote autour de son axe vertical comme une roue de vélocipède; le gouvernail les fait obliquer toutes deux ensemble, mais non du même angle, et la différence est calculée de telle sorte, que leurs axes se coupent toujours sur le prolongement de l'essieu d'arrière. Dès lors, jamais de torsion, de ripage, de patinage; chaque mouvement des roues est mathématiquement juste; et quant à la suppression de l'essieu, c'est l'annulation du bras de levier au bout duquel les efforts résistants exercés par le sol de la route, rendraient insuffisante la force musculaire du pilote. Aussi la manœuvre se fait-elle sans efforts, avec sécurité et avec une rapidité extraordinaire.

Cette victoria marche avec une vitesse normale de 25 kilomètres par heure; au besoin, on peut aller jusqu'à 35 kilomètres et même 40. Le maximum observé a été 42. Il est arrivé qu'on remontât des rampes de $0^m,08$ à la vitesse de 20 kilomètres par heure; mais normalement il faut réduire ce chiffre de moitié. On gravit d'ailleurs facilement des rampes de 0,10. On arrête court, même en pleine vitesse, par renversement de la vapeur; c'est au moyen du frein qu'on modère la vitesse dans les pentes. On tourne dans tous les rayons plus grands que deux mètres. Le poids maximum, compris neuf personnes, est 3,600 kilogrammes. Il y a 300 kilogrammes de charbon en réserve et 390 litres d'eau. La dépense de charbon varie normalement entre 1 et 3 kilogrammes par kilomètre, suivant l'état de la route; celle de l'eau est cinq fois plus grande. La force développée au pourtour des roues motrices est 8 chevaux; dans des expériences, on en a obtenu momentanément jusqu'à 20. Le coefficient de roulement descend souvent au-dessous de 0,02.

M. Le Cordier expose que 8 voitures de ce système sont aujourd'hui construites ou en construction, savoir :

1° Le break d'Exposition (1873), a déjà parcouru 11,000 kilomètres;

2° Une grande voiture pour la Compagnie générale des omnibus de Paris (1876). Cette voiture sera transformée;

3° Une voiture à 36 places (1876) qui va être mise en service, suivie d'un fourgon, le 15 septembre prochain, dans la Seine-Inférieure;

4° La victoria d'Exposition (1878), en partance pour Vienne (Autriche);

5° Une autre victoria semblable (1878), propriété de M. Koechlin;

6° Une locomotive routière de très grande puissance, suivie d'un chariot moteur, qui sera mise en service dans l'Ariège pour porter les minerais de Puymorens, le 1er juillet prochain.

7° Une voiture à 30 places pour voyageurs, suivie d'un fourgon, qui va être mise en service le 10 août prochain dans le Tarn, entre Castres et Lacaune.

8° Une voiture-salon, pour promenade, dans laquelle de nouveaux et très importants perfectionnements sont en expérimentation.

M. Le Cordier dit que les voitures à vapeur du système A. Bollée lui paraissent destinées à jouer un rôle important dans le développement de l'industrie des transports, et qu'il organise en ce moment divers services de voyageurs à grande vitesse et de marchandises à bas tarifs.

Une voiture à voyageurs à trente places, suivie d'un fourgon capable de porter 1,500 kilogrammes de bagages et messageries, est mue par un mécanisme tout semblable, sauf ses dimensions, à celui de la victoria d'Exposition, avec addition de deux transmissions par engrenage, donnant à volonté les vitesses simple et double.

Il y a huit places dans la caisse principale, quatre sur la plate-forme et dix-huit sur l'impériale confortablement aménagée. Le poids total (chariot compris) varie entre 10 et 15 tonnes suivant l'état du chargement; la moyenne est 12 tonnes. La force est 30 chevaux et même 40 au moins à certains moments. On obtiendra facilement, même sur les routes à profil accidenté, des vitesses effectives, arrêts compris de 16 à 20 kilomètres par heure. La faculté de marcher plus vite est d'ailleurs exactement la même que pour la victoria décrite ci-dessus.

Quant aux services des marchandises, qui seront presque toujours distincts de ceux des voyageurs, la locomotive de grande puissance est constituée comme la voiture à trente places qui vient d'être décrite, excepté qu'il y a trois transmissions donnant respectivement les vitesses comprises entre 2 et 4, 4 et 8, 8 et 16 kilomètres par heure, les trois premiers nombres correspondant à 120 tours par minute, les trois autres à 240 tours. La chaudière a 31 mètres carrés de surface de chauffe; sa force nominale est 40 chevaux, mais elle en développe facilement 60. Elle a des tubes Field combinés avec une disposition de foyer intérieur entouré d'eau.

L'arbre de transmission se prolongeant en arrière jusque sous le chariot moteur avec interposition d'un joint de cardan et d'un manchon d'allongement transmet, par les mêmes organes que dans la locomotive routière, la force motrice à l'unique paire de roues de ce chariot. Les poids des divers véhicules du train sont les suivants :

DÉSIGNATION.	Poids en kilogrammes		
	MORT.	UTILE.	TOTAL.
Locomotive routière	11,000	0	11,000
Chariot moteur	5,000	3,000	8,000
1er chariot porteur	2,000	10,000	12,000
2e —	2,000	10,000	12,000
3e —	2,000	10,000	12,000
4e —	2,000	10,000	12,000
Train complet	24,000	43,000	67,000

L'essieu moteur de la locomotive routière est chargé de 8,000 kilogr.; le chariot moteur a pareil poids, donc le poids adhérent est 16,000 kilogr. Le coefficient d'adhérence étant 1/3 du poids, l'effort de traction maximum peut être de 5,333 kilogr., ce qui représente 0,08 du poids total du train. Il ne faut donc pas que le coefficient de rampe augmenté du coefficient de roulement excède ce total de 0,08; cela revient à dire que la rampe ne devra pas excéder 0,04 à 0,05, car il faut compter (sauf pour les routes peu praticables) un maximum de 0,03 à 0,04 pour le coefficient de roulement.

En appliquant le même calcul au train, duquel on détache momentanément le 3me et le 4me chariot porteur, on trouve qu'il peut gravir ainsi sans patinage des rampes de 0,10.

Le prix de revient d'une tonne transportée à un kilomètre dans un tel train, tombe souvent au-dessous de 0f,10, même sur une route assez accidentée.

C'est ainsi que dans la pensée de M. Le Cordier, beaucoup de services de voyageurs et de marchandises pourront être utilement et fructueusement établis, avec des capitaux de 2,000 à 10,000 francs par kilomètre, sur des routes, tant en France qu'à l'étranger. Ces services seront par le fait définitifs, si aucun chemin de fer ne vient à s'établir parallèlement. Ils seront provisoires, toutes les fois qu'on les installera entre des points que des chemins de fer projetés, soit à travers champs, soit sur routes, doivent relier entre eux ultérieurement. Puisqu'il n'y aura pour ainsi dire aucune installation immobilière, on pourra sans dommage reporter le matériel roulant sur de nouvelles directions, et notamment suivant des directions transversales, de manière à amener le trafic aux diverses gares des chemins de fer qui remplacera chaque service de voitures à vapeur.

M. Tresca demande si on pourra remonter des rampes excédant 8 pour 100, même sans remorquage. Il redoute le patinage des roues motrices.

M. Le Cordier répond que le patinage n'est à redouter que dans les locomotives routières non suspendues. L'absence de suspension provoque des trépidations qui consistent dans des excès et des insuffisances de pression des roues motrices sur le sol. Au moment d'une insuffisance, le pati-

nage commence, et, une fois commencé, il continue. Au contraire, avec une bonne suspension, la pression est continue et régulière, et le patinage, n'ayant aucune occasion pour commencer à se produire, ne se produit pas. Ces vues théoriques sont confirmées par l'expérience.

M. Le Cordier rend compte d'une expérience dans laquelle une routière non suspendue a patiné sur une rampe pavée de 0,05 sans rien remorquer, et d'une autre expérience dans laquelle une routière très bien suspendue a gravi sans patinage une rampe de 0,104 en remorquant deux chariots chargés du poids de 96 personnes. Dans cette dernière expérience, on faisait porter une des roues motrices sur le revers pavé d'un ruisseau, afin de diminuer le coefficient de roulement, et, même dans ces conditions, aucun patinage ne se manifestait. M. Le Cordier ne doute pas que, sur rampe de 0,105, sa grande locomotive, destinée au service de l'Ariège et donnant jusqu'à 16 tonnes de poids adhérent, grâce au double essieu moteur, marche, sans patinage à la vitesse de 3,000 mètres par heure, le poids total du train étant 43 tonnes ainsi réparti : 20 tonnes de poids mort et 23 tonnes de minerai. On en aura la preuve au mois de juillet prochain.

M. Tresca exprime ensuite des craintes relativement à la détérioration des routes, même dans le cas où on donnerait aux jantes des roues motrices une très grande largeur.

M. Le Cordier répond que c'est encore grâce à la suspension des locomotives routières que l'on espère conjurer ce danger. Il a vu une route nationale gravement détériorée sous l'influence d'une fréquentation quotidienne de 12 locomotives routières, au point qu'il a fallu renoncer au service. Il n'a pas pu faire une expérience comparative avec une de ses locomotives suspendues. Mais, pour éclairer la question, il a fait un jour, sans s'arrêter, 300 fois le tour d'une fontaine monumentale, en suivant un tracé circulaire sur macadam, au moyen d'une voiture à vapeur bien suspendue dont l'essieu d'arrière était chargé de 8 tonnes. Quoique les roues d'arrière eussent seulement 0,14 de largeur de jante, la chaussée n'a pas souffert.

M. Le Cordier ajoute qu'il a vu une route détruite sous l'influence d'une circulation annuelle de 10,000 tonnes de minerai, matière dénuée de toute élasticité. Le transport se faisait à traction de chevaux dans des véhicules non suspendus. A la même époque, une route placée dans des conditions identiques résistait au passage annuel d'une charge beaucoup plus grande, transportée de même dans des véhicules non suspendus traînés par des chevaux, mais composée presque exclusivement de fagots, dont l'élasticité faisait fonction de ressorts dans une large mesure. — Enfin, chacun a pu voir que sur beaucoup de chaussées entretenues avec luxe, le passage des voitures non suspendues est interdit. — En résumé, M. Le Cordier exprime l'espoir qu'avec des locomotives routières suivies de chariots moteurs, de manière qu'il y ait au moins quatre roues motrices dans un train, avec de larges roues, et avec une parfaite suspension appliquée à tous les véhicules, on pourra faire passer au moins 75,000 tonnes par an sur une bonne route sans la détériorer.

M. Tresca pose une dernière question afin de savoir quel parcours les nouvelles locomotives routières peuvent faire sans prendre d'eau. Il y a d'autant plus lieu de s'en préoccuper à son avis, que si on tient compte des entraves de toute nature apportées à la marche des locomotives routières par l'insuffisance ordinaire de leurs approvisionnements d'eau et par l'énorme consommation qu'elles en font, on arrive à conclure que l'eau coûte plus cher que le charbon.

M. Le Cordier dit que dans des circonstances ordinaires, les locomotives du nouveau système font 25 kilomètres sans prendre d'eau. S'il fait beau temps, le parcours peut souvent être double et quelquefois triple, mais par contre il se trouve réduit quand les routes sont mauvaises et surtout après les dégels. A certains jours, et sur certaines routes, il faudra prendre de l'eau tous les 10 kilomètres; mais cela est exceptionnel, bien plus, cela est anormal, et si les locomotives routières venaient à jouer un grand rôle dans l'industrie des transports, on en viendrait à tenir compte de leurs préférences dans le choix du mode de confection des chaussées.

Cette question de la consommation d'eau est la même que celle de la consommation de charbon, la seconde étant toujours cinq ou six fois moindre que la première, et la vraie source des variations en question réside dans la mobilité du coefficient de roulement sur macadam. Ce coefficient est, au contraire, à peu près constant et très faible sur le bon pavé (1 ou 2 pour 100), l'asphalte comprimé offre un sol encore plus favorable, et peut-être que de tous les systèmes le plus propice serait celui des dallages usités dans les villes de l'Italie du Nord.

Un membre fait alors observer que s'il faut faire de grandes dépenses pour améliorer le sol, mieux vaut établir des rails métalliques.

M. Le Cordier répond que sur les lignes où on ne pourra pas établir de chemins de fer, on pourra trouver avantageux de daller les sections les plus déclives, ce qui sera peu coûteux si elles présentent une longueur relativement faible. En agissant ainsi, on n'aura pas seulement l'avantage de ne faire qu'une dépense progressive et toujours restreinte, on aura encore celui de remorquer plus lourd sur les fortes rampes. En admettant que les locomotives routières bénéficient d'un coefficient d'adhérence double de celui des rails, ce qui est à peu près la vérité, sur une rampe donnée, le poids total du train peut être doublé. Ainsi, en rampe de 0,06, une locomotive de 10 tonnes remorque sur rails 10 tonnes, et le poids total est 20 tonnes. Pour la locomotive routière, le poids total sera 40 tonnes, et par conséquent le poids remorqué sera 30 tonnes (au lieu de 10). C'est là un avantage énorme, et il y en a d'autres encore, notamment celui de transporter directement les marchandises de domicile à domicile, toutes les fois qu'elles peuvent former, pour une seule expédition, le chargement complet d'un chariot; il y a beaucoup d'industriels pour lesquels cette circonstance a une importance tout à fait capitale.

M. Hamers demande quels sont les prix d'achat des diverses voitures à va-

peur, et quels sont les prix de revient kilométriques du transport qu'elles accomplissent.

M. Le Cordier répond qu'une victoria à vapeur coûte 12,000 fr.; un landau à vapeur, 14,000 fr.; un cabriolet à vapeur, 7,500 fr.; une voiture pour voyageurs, à 30 places, avec fourgon, environ 25,000 fr.; une locomotive routière de grande puissance avec chariot moteur, environ 28,000 fr.; une petite locomotive routière de 24 chevaux, 16,000 fr.; toutefois la plupart de ces prix ne doivent être considérés aujourd'hui que comme des indications approximatives. Les mêmes réserves s'appliquent aux prix des parcours kilométriques : 1 fr. pour les voitures à 30 places, et 1 fr. 20 pour les trains de marchandises.

M. le Président remercie M. Le Cordier de son intéressante communication.

M. Pihet a la parole pour rendre compte des travaux de la Commission chargée de l'examen des machines-outils à l'Exposition universelle.

Cette commission, que j'ai l'honneur de présider, n'a pas encore terminé ses travaux.

Je crois cependant devancer l'heure de son rapport, en vous entretenant sommairement de ses travaux, sans toutefois prétendre priver mes collègues du soin de vous présenter ultérieurement avec l'autorité et la compétence qui leur appartiennent, le résultat de leurs observations, d'autant plus que je me récuse d'avance pour une bonne partie des spécialités dont nous avons à vous rendre compte et que nous rencontrons dans les classes 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62 et 64.

Nous avons compris, sous la dénomination toute conventionnelle de machines-outils, les machines suivantes :

Machines à élever les fardeaux;

Machines à travailler le bois, à façonner les métaux, à l'exclusion toutefois de celles employées dans les forges;

Machines à presser, comprimer, scier; outils de la petite industrie;

Machines à préparer les matières textiles, à filer, à tisser, à apprêter les étoffes;

Machines à coudre et à broder, outils spéciaux à la fabrication des voitures, et nous terminons par les machines à essayer les métaux.

Les machines à travailler le bois ont été représentées avec une abondance et une variété remarquables, par les États-Unis, l'Angleterre, la Suède et la France.

Pour les États-Unis, l'exposition de MM. Fay et Cie, de Cincinnati, donne une haute idée de la perfection à laquelle l'exécution et la combinaison des machines est arrivée dans ce pays.

Nous ne sommes pas habitués à l'emploi multiple d'une même machine, nous craignons la complication.

La plupart des machines de MM. Fay sont à outils multiples, passant du dégrossissage au finissage. Un banc de scies circulaires porte à la fois une

scie à grosses dents et une scie fine, l'une est toujours dissimulée quand l'autre est en action. Il en est de même de ses belles raboteuses. Leur machine à faire les queues d'aronde était fort remarquable, ainsi que la raboteuse à planchettes minces.

Trois autres exposants : MM. Gleason, de Philadelphie; Rogers et Cie, de New-York; Trump frères, de Wilmington, nous ont présenté, avec moins d'importance, diverses machines à raboter et des scies à ruban, très remarquables. Puis enfin la Compagnie de la machine à faire les queues d'aronde, Knapp, de Northampton, a exposé une de ses curieuses machines.

A côté des machines nous aurons à vous signaler la variété, la perfection et l'élégance des outils proprement dits.

Six exposants nous ont présenté les haches, les scies, les rabots, les outils de perçage, à l'usage des charpentiers et des menuisiers.

Les types des machines à bois de l'Angleterre diffèrent sensiblement des précédents, et se confondent, en apparence, avec les nôtres. Nous avons compté six exposants :

MM. Westen, Samuel Worsam, Ch. Powis, Ransomes, tous quatre de Londres, MM. Reynolds, Robinson, de Rochdale.

Chacun d'eux expose à peu près toutes les machines que nous connaissons, destinées surtout aux façons délicates, tenons, mortaises, rabotage, moulures.

Nous devons cependant attirer l'attention sur la machine à abattre les arbres en forêts, de Ransomes, ainsi que sur ses très remarquables machines à faire les tonneaux à contenir la poudre de guerre.

Dans l'exposition de Thom, Robinson, nous trouvons la machine à faire les queues d'aronde, système Armstrong, taillant à la fois le creux et le plein, et réservant la cloison extérieure.

Toutes ces maisons tiennent un rang élevé dans l'industrie anglaise, soit comme qualité, soit comme grande production.

La Norwége ne nous présente que quelques outils à main.

La Suède, chez qui le travail du bois est considérable, nous montre quelques beaux types de raboteuses et de scies alternatives très puissantes.

La raboteuse était en fonctions, sa bonne marche et sa solidité ont été fort remarquées.

Quatre exposants :

MM. Jensen et Dahl, de Myren, près Christiania; les usines de Jonsered; celles de Bolinder, à Stockholm; puis celle de Jonkoping.

La Suisse n'avait que deux exposants :

MM. Bosshard et Cie, à Noefels, avec un tour ovale pour les fabricants de cadres; puis la fabrique d'Œrlikon, avec une scie circulaire adaptée à la fabrication des dents de bois de roues d'engrenages, une scie à ruban combinée avec une raboteuse à bois et appareil à faire les mortaises.

Quant à la France, la fabrication de ces machines y a pris un grand essor. Nous y comptons plus de 50 exposants.

MM. Perin Panhard, à qui nous devons, sinon l'invention, du moins la vulgarisation de la scie à ruban, a exposé, en action, toute une série de ses appareils, qui ne le cèdent à aucun constructeur pour la bonne combinaison et la bonne exécution.

M. Arbey exposait, dans la classe 59 et dans l'agriculture, une quantité et une variété de machines non moins remarquables.

M. Gérard, scieries à lame sans fin, à cylindre, scies circulaires, machines à moulures, etc.

M. Guillet, à Auxerre, exposait de bonnes machines de construction légère, mais à outils très tranchants pour corroyer, moulurer, faire les tenons, tourner les rais, percer et tourner les moyeux.

M. Marquet, des scies de construction économique pour le découpage des bois, et un tour à fraiser les tiges cylindriques.

M. Quetel Tremois, expose des raboteuses toutes spéciales.

Je ne mentionne que pour mémoire les petites scies à refendre de toutes sortes, mais je ne peux passer sous silence les appareils trop rares servant à garantir les ouvriers des accidents nombreux afférents malheureusement à l'emploi des machines à travailler le bois.

M. Dumas, à Chaludet; et M. Ganne, à Paris, nous présentaient des appareils de garantie pour les scies circulaires; d'autres appareils dans le même but, se retrouvaient sous d'autres formes dans la belle exposition de M. Engel-Dollfus.

Comme outils accessoires de machines, la maison Mongin, de Paris, soutenait sa vieille réputation en nous présentant l'assortiment le plus complet de scies et d'outils tranchants.

Les machines à travailler le liège qui paraissent spéciales à la France et à nos départements du midi, comptaient huit exposants.

A l'exception de la machine à lame sans fin, de M. Robert, exposée par la société des lièges appliqués à l'industrie, et construite en vue d'une marche au moteur dans une grande fabrication; toutes ces machines assez semblables entre elles sont destinées à fonctionner à la main.

Les machines à travailler les métaux n'ont pas eu cette fois dans les sections anglaise et américaine l'importance que nous avions l'habitude d'y rencontrer.

L'Amérique qui ne s'est décidée que tard à venir à Paris, n'a pas pu s'y faire représenter comme elle l'eût pu en s'y prenant d'avance. J'ai compté douze exposants.

MM. Brownn et Sharpe, de Providence, exposaient un bel assortiment de leurs machines à fraiser bien connues.

Comme machines nouvelles on remarquait leur machine à raboter à roue garnie d'émeri pour adoucir les surfaces planes et leur tour à roder et rectifier les tiges trempées.

Les poinçonneuses, système Kennedy exposées par Delamater et Cie, qui se distinguent par la tranche hélicoïdale de l'outil.

Les forets hélicoïdaux de Morse, construits avec une si grande perfec-

tion par cette maison et dont l'usage s'est rapidement répandu et que nous désignons sous le nom de forets américains.

Puis les divers mandrins concentriques employés pour serrer ces forets.

Les étaux parallèles de Stevens construits en fonte, avec soudure d'acier aux mordaches.

Pour terminer le lot américain, je citerai encore les machines à meule d'émeri de Northampton, construites avec très peu de métal, mais bien combinées.

Allen et Rœder, avec une machine à river pneumatique.

L'Angleterre était représentée par douze exposants :

Whitworth, avec sa belle série de calibres types et ses filières et tarauds.

Un petit tour de précision sur son ancien modèle.

Une série de belles photographies de ses diverses machines-outils.

De petits marbres parfaits.

Sharph Steward et Cie, une série importante de tours, mortaiseuses, fraiseuses, raboteuses, parmi lesquelles on remarquait la raboteuse et la taraudeuse brevetées de Sellers, de Philadelphie.

Smith et Coventry, avec un assortiment très varié de tours et de fraiseuses, imités en partie des machines américaines de Brownn et Sharpe.

Des porte-outils évitant la forge de l'acier.

Tweddel, qui attirait si vivement l'attention avec ses riveuses fixes et portatives, ses poinçonneuses et cisailleuses, toutes activées par un accumulateur hydraulique.

Thomson, Sterne et Cie de Glascow, avec un assortiment très varié de machines à meules d'émeri agglomérées.

Machines à meuler les poulies, les dents de roues, à affûter, etc.

Les meules de ces fabricants sont agglomérées par un mélange d'huile de lin cuite; et une petite pompe rotative de quelques centimètres de diamètre, adhérente à chaque machine, fait tomber sur la meule un petit filet d'eau.

Nous nous réservons de revenir plus tard sur l'ensemble de ces nouvelles machines à l'Exposition.

Western, un banc de scie circulaire pour couper le fer.

Taugye frères, bien connus pour leur fabrication à bon marché et qui cherchent à produire les machines en quantités et avec toute la qualité désirable, ont exposé trois types de petits tours à fileter faits dans ces conditions.

Julius Hall, expose une curieuse petite machine, cachée la plupart du temps, avec laquelle il perçait des trous carrés, au moyen d'un foret tournant ayant la forme d'un prisme triangulaire.

Embleton et Mackenzie, de Leeds, avec une série de tours, étaux limeurs, perceuses de moyenne dimension et sans dispositions bien spéciales.

Il me reste encore à vous énoncer les diverses machines des classes 55, 56 et 61, et celles que nous avons pu rencontrer dans diverses autres classes et qui nous ont paru devoir entrer dans la catégorie des machines-outils.

M. Tresca a écouté avec attention la première partie de l'exposé dont M. Pihet vient de donner connaissance. Il regrette que l'auteur se soit borné à une simple énumération des machines-outils que renfermait l'Exposition, et qu'il n'ait pas jeté çà et là quelques traits de lumière sur les principales innovations étrangères. Ainsi, sans préjudice des développements qui seront donnés dans les rapports spéciaux à chaque catégorie de machines-outils, M. Pihet aurait pu appeler dès à présent notre attention sur la scie à vapeur de Ransome pour abattre les arbres, sur les outils américains, notamment la poinçonneuse et les haches dites du Canada.

M. Pihet dit que ce n'est pas un rapport qu'il a présenté, mais une simple introduction aux communications ultérieures de la section qu'il avait l'honneur de présider. Dans la conclusion de son exposé, il résumera par quelques considérations générales l'ensemble des progrès que l'Exposition a attestés dans ces auxiliaires du travail mécanique qu'on dénomme les machines-outils. Il n'a pas voulu parler du poinçon américain, parce qu'il partageait sur cet outil l'avis de M. Tresca; il reconnaît que, travaillant par actions successives, il a l'inconvénient de déprimer inégalement et même de dédoubler la tôle. Cet outil rendra cependant des services pour le poinçonnage à la main chez les serruriers et les petits mécaniciens qui ne peuvent utiliser les grandes poinçonneuses à vapeur.

M. Queruel a été frappé de la différence qui existe entre les haches américaines et les nôtres. Il pense que ces deux espèces d'outils ne doivent pas être employées de la même manière, et que l'on ne peut les comparer sur le simple aspect du taillant. La hache européenne est assez massive, à tranchant fin, elliptique pour le bûcheron, à un biseau pour le charpentier, et, ayant un manche droit, sa manœuvre se fait à deux mains et à coups simples. La finesse de son tranchant la fait engager dans le bois à chaque coup; ce qui nécessite un à-coup latéral sur le manche, pour ouvrir l'incision et la dégager. La hache américaine, au contraire, est légère $\left(\frac{1}{2}\right.$ poids de la hache européenne), elle est pourvue d'un long manche en frêne, d'une forme légèrement ondulée, terminé par un talon adouci pour la main extrême. Ce manche, si artistement fait, indique clairement que cette hache doit être mue à tours de bras; de telle façon que sa vitesse d'attaque soit très considérable. L'angle du taillant est tel, que chaque coup détache son copeau et laisse l'outil libre, pour continuer son mouvement giratoire. Pour un effort donné, ces haches doivent, en vertu de MV^2, donner un travail double de celui de nos haches. Il serait intéressant et même utile de faire des épreuves comparatives sur la valeur de ces deux espèces d'outils.

M. Tresca dit que les haches américaines sont, en effet, des outils contondants plutôt que coupants, comme nos haches. Sans se livrer à des expériences spéciales, on comprend très bien que les unes et les autres doivent fournir des résultats différents. On ne peut comparer utilement que des outils dont le mode d'action est le même, par exemple les divers systèmes de scies qui sont par leur montage si différents en Angleterre et en

France. C'est la manière de s'en servir qui varie surtout d'un pays à l'autre.

M. BOURDAIS rappelle à ce sujet les outils des menuisiers Japonais que ces derniers conduisaient avec tant d'habileté et d'intelligence, dans les travaux exécutés par eux à l'Exposition.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Pibet et l'invite à continuer à la prochaine séance, la lecture de son intéressant exposé sur les machines-outils.

MM. Albaret, Coignet, Fortin, Fraix, Herpin, Lambert, Métivier, Ricard, Rouché, Schaller, Sédille et des Tournelles ont été admis Membres sociétaires.

Séance du 16 Mai 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mai est adopté.

Il est donné lecture d'une lettre de M. Édouard Simon, qui appelle l'attention de la Société sur une brochure publiée à l'instigation du gouvernement colonial de la Nouvelle-Zélande :

Le ministère des travaux publics de Wellington, ayant décidé de provoquer des soumissions en vue d'une production sur place de 100,000 tonnes de rails d'acier, il est fait appel aux métallurgistes de tous pays.

D'après les rapports des autorités locales, la Nouvelle-Zélande possède en abondance la *houille*, divers *minerais de fer*, la *chaux* et le *bois de charpente*. Ces richesses minérales et végétales se rencontrent notamment, à proximité les unes des autres, dans le district de Collingwood, près de la *Golden-Bay*, à l'embouchure de l'*Aorere*, rivière assez profonde pour permettre aux navires de s'y abriter, en venant prendre charge.

Les chemins de fer projetés vers l'intérieur du pays, faciliteront l'exploitation d'autres districts, où se montrent, d'après les mêmes rapports, des veines importantes d'excellente houille et de riches minerais de fer.

La brochure est pourvue d'une carte générale des gisements connus dans les îles qui forment le territoire de la colonie; une carte plus détaillée vise spécialement la province de Nelson, qui renferme le district précité de Collingwood; enfin, une carte de ce district indique les limites d'une exploitation tentée avec des capitaux insuffisants (?) par la Compagnie de Parapara, et abandonnée aujourd'hui. Cette tentative a, du moins, permis de fixer l'importance d'un certain nombre de couches de houille et de minerai.

Dans les mêmes parages, plusieurs cours d'eau fourniraient la force motrice à peu de frais.

M. Mackay, agent de la Couronne, fait observer que Wellington, par sa situation et grâce à l'outillage d'une fonderie établie dans la ville, offre toutes facilités pour des essais en grand, qui permettraient de juger, en connaissance de cause, si un établissement métallurgique important aurait ou non de réelles chances d'avenir.

D'après M. Mackay, le coût de semblables essais s'élèverait à £ 1500 (37,500 francs environ).

L'ordre du jour appelle la communication de M. Lippmann sur les fonçages des puits de mines par forage à pleine section.

M. Lippmann dit qu'il ne fera pas l'historique de l'application de la sonde au forage des puits de grande section; qu'il a eu l'occasion de l'ébaucher dans la première séance de notre Congrès au Trocadéro, et il n'y reviendrait pas aujourd'hui s'il ne lui paraissait pas y avoir un certain intérêt à faire part d'une véritable trouvaille qu'il vient de faire tout récemment sur ce sujet.

Dans un *Traité de l'exploitation des mines*, le premier qui ait été édité en France, en 1773, et qui a été traduit de l'allemand par Monnet, on lit une description des instruments de sondage, en usage déjà depuis de longues années, particulièrement en Autriche, tandis qu'en France ils étaient alors, sinon inconnus, (puisque nous faisons avec raison remonter la véritable invention de la sonde à Bernard Palissy), mais au moins tout à fait tombés en oubli.

A la suite de sa description du « perçoir de montagne » dont les pièces s'assemblaient déjà par des emmanchements à vis, contrairement à l'opinion admise jusqu'à présent qui attribuait une date toute moderne à cette disposition, Monnet parle d'un perçoir de puits, faisant des trous de la largeur de « deux à trois aunes », tandis que le perçoir de montagne ne fait des trous que de « six pouces. » Il déclare qu'on ne connaît ni qui en est l'auteur, ni le lieu de son premier usage, mais il extrait des *phénomènes hydrauliques* de Marin de Mersenne, la relation du forage, à Amsterdam, d'un puits de 232 pieds, dont il donne la coupe géologique, et qui paraît avoir été exécuté là au diamètre de 25 à 30 pouces; mais il décrit ensuite la disposition de l'instrument à utiliser pour le forage d'un puits beaucoup plus grand dans lequel on fait descendre à mesure de l'approfondissement une tour en maçonnerie suspendue par son pied à l'aide de trois ou quatre cordes solides qu'on manœuvre de la surface.

Voilà donc bien le forage et le cuvelage d'un puits par la méthode à niveau plein, imaginé et décrit — sans nom d'auteur — comme ayant plus de 100 années de date.

M. Lippmann rappelle que c'est en 1869 qu'a paru dans les *Annales industrielles*, la première description des appareils utilisés par lui au forage du puits de la place Hébert, au diamètre de 1^{m},80. Ce fut sa première étape

dans les forages à grande section; et le système qui avait été appliqué donnait des résultats tels que, déjà à cette époque, il déclarait qu'il n'hésiterait pas à l'utiliser pour les fonçages des puits de 4 et 5 mètres de diamètre.

Cette description attira l'attention de M. Demmler, ingénieur français, alors directeur de la Société anonyme des charbonnages de Gelsenkirchen (Westphalie); et, plein de confiance dans la réussite du procédé dont il comprenait parfaitement les avantages, il résolut en 1874, de l'appliquer au fonçage du deuxième puits d'extraction dont la Compagnie venait de décider l'exécution.

C'est ainsi que M. Lippmann a été conduit à faire, en Allemagne, les premières applications de son procédé de *forage à pleine section*, dont il fait la description suivante :

L'atelier comprend une machine à vapeur horizontale à changement de marche de la force de 25 à 50 chevaux suivant la profondeur à laquelle doit être poussé le forage.

Elle actionne alternativement, suivant la succession des opérations, à l'aide d'un débrayage, soit un treuil ou tambour à rainure héliçoïdale, pour la manœuvre de montée ou de descente de la sonde, soit un moteur transmettant au balancier, auquel est suspendue la sonde, le mouvement alternatif qui produit le soulèvement et la chute du trépan pour le fonçage.

Comme toujours la manœuvre de la sonde se fait à l'aide d'une chaîne qui s'enroule sur le tambour du treuil, passe sur une poulie à gorge placée au haut d'une chèvre de 17 mètres de hauteur; ici, à cause du poids considérable à manœuvrer, la chaîne est moufflée, et c'est à la poulie mobile sous laquelle elle passe pour aller s'accrocher par son extrémité au haut de la chèvre, que se suspend la clef de relevée ou pied-de-bœuf. Cette manœuvre de la sonde est ici absolument la même que dans les sondages ordinaires; sans entrer dans plus de détails à cet égard, M. Lippmann ajoute seulement que pour déplacer le trépan qui pèse 25,000 kilogrammes, on se sert d'un petit vagonnet roulant sur des rails placés à hauteur convenable dans la chèvre, et sur la plate-forme duquel l'outil se suspend par son extrémité supérieure. La cuiller à soupape qui fait le curage du trou de sonde et qui pèse 5,000 kilogrammes quand elle est vide et 18,000 kilogrammes quand elle est pleine, se transporte sur un vagon solide qui marche sur une voie de fer allant du puits à la décharge où sont reçus les déblais du puits.

M. Lippmann passe ensuite immédiatement à la description des appareils qui constituent toute la particularité du système qu'il emploie : il a représenté par des croquis les instruments principaux, dont il donne successivement l'explication et le fonctionnement :

La *coulisse de chute libre*, qui est placée au bas de la sonde directement au-dessus du trépan, est à *poids mort*, c'est-à-dire à point d'appui sur le fond du forage, de telle sorte que la sonde, en recevant un mouvement alternatif vertical, exactement comme une tige de pompe, soulève le trépan

à la hauteur voulue et le laisse tomber au moment où le déclic s'ouvre en rencontrant le haut du *poids-mort*. Ce déclic a ici une disposition toute particulière qui lui permet de bien maintenir dans ses pinces ou crochets le trépan dont le poids est de 25,000 kilogrammes. Après chaque chute de l'outil on lui fait faire un trentième de tour environ pour faire le trou cylindrique. Et c'est en produisant ainsi 12 à 15 chutes du trépan par minute qu'on arrive à triturer la roche pour approfondir le puits.

Le *trépan* se compose d'un fût à cinq branches, réuni au porte-lames par des assemblages en queue d'aronde analogues à celui de la tige d'un marteau-pilon avec la frappe. Le porte-lames a une forme de double Y. Le fût et le porte-lames sont en fer forgé. Les lames en acier fondu sont encastrées dans une rainure profonde ménagée sur tout le tracé du porte-lames, et elles y sont fixées par un clavetage solide.

M. Lippmann explique comment cette disposition est favorable à l'approfondissement, en opérant d'un seul coup sur toute la section du grand puits, non seulement parce qu'on donne ainsi un plus grand développement au taillant eu égard à la grande surface à attaquer, mais surtout parce que, par le recoupement des traits ou entailles sur le fond, on arrive à avoir une trituration de la roche énormément plus active vers la circonférence qu'au centre. Cela se voit très bien sur un tracé comparatif donnant différentes positions successives d'attaque, par un trépan à lame droite, comme on les emploie d'ordinaire, et par le trépan à la lame en double Y. Dans le premier, les entailles se suivent en angle, c'est-à-dire en s'écartant de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne du centre ; dans le second, au contraire, un des traits obliques de l'Y sera immédiatement après croisé un très grand nombre de fois par l'autre, et ces traits croiseurs seront coupés eux-mêmes et successivement, au demi-tour suivant, par le premier trait symétrique de l'autre partie de l'Y. — De plus, cette forme du porte-lames donne une très solide assiette au trépan dont la verticalité constante est encore assurée par une traverse-guide placée à sa partie supérieure, et qui occupe exactement un des diamètres du puits de manière à éviter, s'il tend à se produire, le balancement du trépan en avant ou en arrière.

La *cuiller à soupape,* chargée d'enlever les détritus produits par le trépan est un récipient en tôle de 4 mètres de long, 2 mètres de large, 1m,50 de hauteur, dont le fond est percé de 27 ouvertures servant de siège à autant de clapets en forme de tympan. — Deux cloisons verticales en tôle la divisent en trois compartiments d'égale capacité, et cette division a pour but d'empêcher que l'appareil ne perde tout son contenu en remontant, si, par extraordinaire, un des clapets reste ouvert par l'interposition d'un fragment quelconque sur son siège.

M. Lippmann explique ensuite le jeu des outils de sauvetage dessinés également sur le tableau :

La *cloche à vis*, cône d'acier fileté intérieurement, qu'on taraude sur la partie supérieure de la sonde restée dans le forage après la rupture d'une

tige; la *caracole*, crochet horizontal qui remonte aussi la sonde, dont un des filets d'emmanchement s'est brisé, en prenant la tige rompue sous un des épaulements ménagés à cet emmanchement pour la manœuvre de montée et de descente. Le *rateau-drague*, qui en pivotant sur le fond ramène dans l'avant-trou de 2 mètres de diamètre de $0^m,30$ de profondeur, qu'exécute la lame centrale du trépan, les morceaux de fer ou d'acier, qui pour une cause ou une autre ont pu rester ou tomber au fond, et que la *pince à vis* vient saisir entre ses quatre griffes, qu'on referme en manœuvrant la sonde par rotation.

Avant de terminer cette description de l'outillage, M. Lippmann appelle l'attention sur les avantages nombreux que présente l'emploi de la chute-libre dans les forages à grand diamètre : régularité du travail, diminution des chances de rupture de la sonde, sécurité plus grande pour la verticalité du puits, enfin et surtout économie de la force à dépenser, car, avec ce système, on équilibre, au moyen d'un levier et de contre-poids additionnels à mesure de l'approfondissement, toute la partie de la sonde qui surmonte le trépan, et ainsi, quelle que soit la profondeur atteinte, la machine a exactement et toujours le même effort à produire pendant le battage au trépan.

Le fonçage des puits de mine, par la sonde, s'achève par la descente d'un cuvelage en fonte destiné à isoler, à tout jamais, l'ouvrage de l'eau des nappes souterraines que le forage a traversées, et qui autrement auraient nécessité des moyens d'épuisement très coûteux et très longs.

Dans les puits qu'il a entrepris, M. Lippmann a employé, le cuvelage de M. Chaudron, avec son ingénieux système d'obturation à la base par stuffing-box ou boîte à mousse. Il n'a pas à en faire ici la description, ce système étant bien certainement aujourd'hui connu de tous, il indique seulement qu'il trouve avantageux de supprimer la colonne centrale, dite d'équilibre, que M. Chaudron fait servir à régler la pression d'eau aidant à faire descendre le tube de fonte. Il considère cette colonne non seulement comme produisant du retard dans la pose du cuvelage par les précautions que réclament sa consolidation sur toute la hauteur et la confection des joints d'assemblage, mais aussi comme présentant un très grand danger dans le cas de rupture par une cause ou par une autre d'une de ses jonctions, à cause de la grande quantité d'eau qui pourrait envahir instantanément l'intérieur de la colonne de fonte et lui donner une pesanteur dont on ne serait plus maître. — Il remplace cette colonne centrale par un simple robinet qu'on ouvre et qu'on ferme à volonté par de petites tringles manœuvrées d'en haut.

Après la mise en place du cuvelage, on remplit par précaution l'espace annulaire avec un béton de sable et ciment: M. Lippmann, contrairement à ce qui s'est fait jusqu'à présent, fait cette opération par coulée continue, au moyen de deux tuyaux en fer descendant au fond et remontant au fur et à mesure du remplissage. Il réalise par ce procédé une grande économie de temps et il y trouve l'avantage de produire une enveloppe monolithique,

homogène, bien soudée aux parois du puits et à la surface extérieure du cuvelage; de plus il peut être certain d'avoir ainsi comblé bien exactement tous les vides, crevasses, fissures qui existaient dans le terrain.

M. LIPPMANN donne ensuite le compte rendu succinct des deux puits qui viennent d'être forés, à pleine section au diamètre de 4m,40.

1° *Puits n° 2, de Rheinelbe*, Gelsenkirchen (Westphalie).

Coupe des terrains traversés.

	Épaisseurs	Profondeurs.
Avant-puits	13m,00	13m,00
Maçonnerie de briques avec remplissage d'anciens remblais	3m,25	16m,25
Marne grise	22m,29	38m,54
Marne verdâtre dure	37m,88	76m,42
Marne blanche très argileuse et collante	10m,12	86m,54 Base du cuvelage.
Avant-trou, puisard de 1m,35 de diamètre	3m,54	90m,08

M. Demmler, directeur de la Société des mines de Gelsenkirchen, a présenté à la Société géologique de Manchester, le 29 janvier 1878, une note sur le forage du puits n° 2, par le procédé à niveau plein et à pleine section, de laquelle nous extrayons le passage suivant :

« Les conditions dans lesquelles ce fonçage devait être exécuté étaient fort intéressantes.

« En effet, le puits Rheinelbe n° 1, foncé de 1857 à 1861 par un entrepreneur et des ouvriers anglais, avait rencontré dans les marnes qui recouvrent, dans ce pays, le terrain houiller, des venues d'eau énormes s'élevant à plus de 40 mètres cubes (ou 8800 gallons) par minute; certaines sources rencontrées comportaient jusqu'à 16 mètres cubes (ou 3520 gallons) par minute. Malgré l'emploi de moyens d'épuisement extrêmement puissants, notamment de pompes atteignant 0m,80 de diamètre et 3 mètres de course, on eut énormement de peine à traverser les marnes, et, après son achèvement, le puits, tubé en fonte par la méthode anglaise, laissait encore passer 250 litres d'eau (ou 55 gallons) par minute. Le temps nécessaire pour foncer jusqu'au terrain houiller a dépassé trois ans, et la dépense a excédé 2 millions et demi de francs.

« Le puits n° 2 devait être établi à seulement 35 mètres du puits n° 1, et devait indubitablement rencontrer les mêmes difficultés. Aussi l'auteur de cette note, M. Demmler, qui avait déjà dirigé le fonçage du puits n° 1, et qui en connaissait toutes les difficultés, se décida-t-il à recourir au système de forage à niveau et à pleine section. »

Le forage proprement dit a été commencé le 18 mai 1874 et terminé le 1er avril 1875. Il a été fait au diamètre de 4m,30, en une passe. — 317 jours.

L'installation de la charpente spéciale et des treuils pour la descente du cuvelage a duré jusqu'au 26 avril. — 26 jours.

Le cuvelage a été descendu du 27 avril au 2 juin. — 31 jours.

Le bétonnage, installation et coulée, a été fait du 3 juin au 23 juin, soit 20 jours, y compris 9 journées passées à chercher un tuyau de coulée qu'on avait laissé tomber entre le cuvelage et la paroi du puits.

Forage. — Les 317 jours employés pour le forage proprement dit se décomposent comme suit : 192 journées de travail réel, ce qui représente $0^m,40$ pour moyenne d'approfondissement journalier.

Sur les 125 jours de chômage il faut compter :

58 dimanches et fêtes;
40 journées d'attente de pièces de rechange;
20 journées de modifications d'installation et de préparatifs divers;
14 journées pour réparations d'accidents.

Cuvelage. — Les 26 jours d'installation pour le cuvelage, comportent 4 journées de chômage pour dimanches et fêtes.

Les 31 journées de descente, comportent 6 journées de chômage pour dimanches et fêtes.

Les 20 jours de bétonnage, comptent :

3 journées d'installation;
10 journées d'accident et chômage;
8 journées de travail utile.

Le cuvelage a été exécuté à Hayange. Il se composait :

Boîte à mousse.	Du cylindre inférieur,	hauteur $1^m,75$,	épaisseur	$0^m,048$.
	Du cylindre suivant,	— 1 ,75,	—	0 ,044.
	51 anneaux, dont : 10	— 1 ,50,	—	0 ,044.
	10	— 1 ,50,	—	0 ,041.
	10	— 1 ,50,	—	0 ,038.
	10	— 1 ,50,	—	0 ,035.
	11	— 1 ,50,	—	0 ,032.

Poids total 390,000 kilogrammes.

DÉPENSES.	Main-d'œuvre	Matériaux.	TOTAL.
	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Charpente, hangars et divers..........	»	25,759 »	25,759 »
Outils, engins, installations diverses....	»	172,213 »	172,213 »
Machines à vapeur, tuyaux, etc........	»	23,655 »	23,655 »
Travail de forage.....................	55,694 40	22,047 50	77,741 90
Cuvelage, cercle, boulons, plomb pour joints et frais de transport..........	»	119,270 50	119,270 50
Pose du cuvelage......................	6,454 40	3,700 50	10,154 90
Bétonnage............................	2,546 65	10,488 50	13,035 15
Appointements, surveillance, voyages, prime de l'entrepreneur............	58,734 70	»	58,734 70
Total............	123,430 15	377,134 »	500,564 15

Ce qui fait ressortir la main-d'œuvre en moyenne à 1500 fr. par mètre, et l'ensemble du puits en moyenne à 5,560 fr. le mètre. Mais si l'on en déduit sur 195,000 fr. de matériel, environ les 2/3, soit 130,000 fr. pouvant être utilisés sur place ou sur un autre travail, le prix total n'est plus que 370,000 fr. et le prix par mètre de 4,100 fr. Ce qui peut être considéré comme un prix moyen; car à Rheinelbe le cuvelage a coûté cher, tant comme prix d'achat que comme transport; et d'un autre côté la profondeur totale étant faible, les frais d'installation et les frais généraux à répartir entrent ici pour une quote-part proportionnelle très élevée.

En résumé, le puits n° 2 de Rheinelbe a été complètement exécuté en un an, a coûté 500,000 francs, et est resté bien étanché.

Le puits n° 1 avait exigé plus de trois années, avait coûté 2 millions 1/2 et donnait encore 15,000 litres d'eau à épuiser par heure.

2° *Puits de Konigsborn,* près Unna (Westphalie)

Coupe des terrains traversés.

Avant-puits.	Terre végétale.	3m,13		
	Terre gris-bleuâtre (nappe). . .	3 ,15		
	Marne gris-bleuâtre.	12 ,55		
	Marne grise.	31 ,23	=	50m,06
Forage de 4m,32.	Marne grise très dure.	49 ,23		99 ,29
	Marne verte supérieure.	3 ,71		103 ,00
	Marne blanche.	27 ,11		130 ,11
	— chloritée	3 ,52		133 ,63
	Marne blanche.	8 ,37		142 ,00
	Marne grise très dure.	20 ,52		162 ,52
	Craie grise siliceuse extrêmement dure.	3 ,88		166 ,40
	Grès verts.	11 ,95		178 ,35
	Schistes compactes.	3 ,77		182 ,12
Forage 1m,35.	Schistes compactes.	7 ,24		189 ,36

L'administration des mines de Konigsborn, près Unna (Westphalie), avait fait suivre avec la plus grande attention la marche du fonçage de Rheinelbe. La régularité du travail, le mécanisme qui manœuvrait au fond du puits, sans bruit, sans choc, malgré la masse imposante de 25,000 kilogr. du trépan, la conviction qu'avec ce système on arriverait à vaincre les difficultés qui devaient surgir, décidèrent facilement cette Compagnie à charger M. Lippmann de l'exécution d'un puits qui devait être cuvelé à plus de 180 mètres de profondeur, et devait traverser des couches de craie siliceuse dans lesquelles existaient de nombreuses crevasses et d'une dimension présumée telle (M. Lippmann l'a su depuis), que l'ingénieur directeur

de la mine, M. Tilmann, était convaincu que, malgré sa large base, le trépan s'y coincerait ou dévierait. Ce puits vient d'être terminé.

Le forage a été fait au diamètre de 4^m,32.

Forage. — Il a commencé au fond de l'avant-puits de 50^m,06 le 20 août 1875, et il est arrivé à la profondeur de 182^m,12 le 1er octobre 1878. — Puis à celle de 189^m,36 au diamètre de 1^m,40 le 31 octobre. 1167 journées.

Cuvelage. — On a dû, pour procéder à la pose du cuvelage, faire un canal souterrain pour mettre à sec l'avant-puits, jusqu'à 4 mètres de profondeur. — Cela a conduit au 2 décembre.	32	—
Du 3 au 12, préparatifs et installation sur le puits pour la descente du cuvelage.	10	—
Descente du cuvelage, du 13 décembre au 30 janvier. .	49	—
Bétonnage. — Bouchage du canal d'écoulement pour éviter l'entraînement du ciment et obligation de s'installer sur une charpente à 3 mètres au-dessus du sol, avec les machines à mortier; cela a pris du 31 janvier au 6 février (compris un dimanche).	7	—
Mauvais ciment, prise trop rapide, engorge une des 2 colonnes, qui se brise, et en attendant une nouvelle on a chômé jusqu'au 23 février.	17	—
Le bétonnage a été fait alors du 24 février au 12 mars, compris dimanches et fêtes.	17	—
Total.	1299	journées.

Les 1167 journées de forage peuvent se décomposer comme suit :

602 journées de travail effectif, ce qui correspond à une moyenne d'approfondissement de 0,23;

210 journées de chômage pour dimanches et fêtes;

277 journées de chômage pour creusement d'un canal, attente de pièces de rechange, modifications au trépan;

78 journées de réparations d'accidents extraordinaires, et presque tous ces accidents, on peut dire les 9/10, sont dus à la dureté imprévue de la roche rencontrée à 90 mètres environ.

Voici du reste, sur ce travail, un extrait du compte rendu ou rapport présenté par M. Tilmann à l'assemblée des actionnaires en mars 1878. (*Journal d'Essen*, 28 mars 1878.)

« Les renseignements donnés sur les travaux de forage du puits dans la concession houillère de Konigsborn ont été particulièrement intéressants, à cause des grandes quantités d'eau que, selon toutes les prévisions, on devait

s'attendre à rencontrer pendant le fonçage ordinaire, de même qu'à cause de la mise à sec des puits de la ville et commune d'Unna, la Société s'est prononcée, dès le commencement, pour le système de forage de puits à niveau plein avec cuvelage. Au commencement la marche était bonne, et l'on a fait jusqu'à 11 mètres par mois, mais vers 90 mètres environ les couches de marne ont présenté une dureté extraordinaire, telle qu'en 24 heures de travail non interrompu on ne pouvait plus avancer que de quelques centimètres, et les appareils souffraient tellement que le travail a dû chômer complètement pendant plusieurs mois, en tout 223 jours, par suite de grandes réparations, et qu'il a eu à lutter souvent avec des travaux de raccrochage tels que la science des sondages n'en a peut-être jamais eu de pareils à enregistrer. »

Les prévisions de la Société de Konigsborn, relativement aux fortes nappes qu'elle s'attendait à rencontrer se sont parfaitement réalisées. — Le 1er janvier 1876, à la profondeur de 87 mètres le niveau de l'eau s'est élevé subitement de 4 mètres dans le puits, et le 23 janvier à la profondeur de 90m,30, l'eau a monté encore de 4 mètres, noyant les fondations des machines, le levier d'équilibre de la sonde, et il a fallu établir à 2 mètres au-dessous du sol un canal par lequel l'eau a continué à couler en jaillissement, jusqu'à la fin du bétonnage, en débitant environ 1,200 pieds cubes, c'est-à-dire plus de 37,000 litres d'eau à l'heure.

C'est à partir de cet endroit — 90 mètres — que le fonçage a subitement diminué de plus de moitié. — Les crevasses rencontrées ne se sont pas manifestées par une modification dans le jeu du trépan qui, au contraire, a continué à fonctionner avec la même régularité, mais par l'entraînement des détritus qu'on ne ramenait plus au sol avec la soupape et par les vides énormes qu'on a encore eu à combler, malgré ce premier remplissage, par un volume supplémentaire de plus de 50 mètres cubes de béton qu'il a fallu couler au delà du volume calculé.

La hauteur bétonnée est de 170 mètres.
Le cube total est de 854 mètres cubes de matériaux.
Ce qui correspond à une coulée de 57 mètres cubes par journée.

La vidange après la prise du béton vient de s'opérer à l'aide d'un cuffat à clapet qui se manœuvre par une bobine et un câble, la bobine est montée sur l'arbre du treuil de la sonde, de sorte que la disposition et l'ensemble des machines du sondage vont pouvoir servir au fonçage qui maintenant se continuera à bras, le puits étant complètement à sec.

M. Lippmann donne ensuite lecture de cet extrait du journal *le Gluckauf* du 11 décembre dernier, dans lequel est inséré le rapport de M. Tilmann sur la mine de Konigsborn.

« Dans son ensemble le travail de forage a marché d'une façon très satisfaisante. Le système Lippmann et Cie a soutenu une victorieuse épreuve. Les plus grandes difficultés et de nombreux et difficiles travaux de rac-

crochage ont toujours été surmontés rapidement et heureusement. La dureté et la résistance extraordinaire des terrains de 106 à 172 mètres ont retardé, il est vrai, le travail et exigé des outils de rechange, mais elles n'ont pas occasionné de dépenses extraordinaires.

« M. Tilmann admire la régularité avec laquelle fonctionne l'appareil de chute libre, et il est convaincu que c'est grâce à cet instrument, autant qu'à la forme ingénieuse du trépan qu'on doit les résultats obtenus, particulièrement à travers les terrains crevassés. »

Le cuvelage exécuté à Dusseldorf, comprenait :

Boîte à mousse. Cylindre inférieur,		hauteur	1m,75	épaisseur	0m,063
— — Cylindre suivant,		—	1 ,75	—	0 ,059
Cylindre du faux fond,		—	1 ,50	—	0 ,059
120 cylindres,	10	—	1 ,50	—	0 ,059
—	12	—	1 ,50	—	0 ,056
—	12	—	1 ,50	—	0 ,053
—	12	—	1 ,50	—	0 ,050
—	12	—	1 ,50	—	0 ,047
—	12	—	1 ,50	—	0 ,044
—	12	—	1 ,50	—	0 ,041
—	12	—	1 ,50	—	0 ,038
—	12	—	1 ,50	—	0 ,035
—	14	—	1 ,50	—	0 ,032

Poids total 924,000 kilogr.

Le détail du prix de revient se résume approximativement comme suit :

Chèvre, baraque, installations.	42,510f »
Machine à vapeur, 2 chaudières, 2 bouilleurs. . . .	25,000 »
Matériel de forage, pièces de rechange	178,830 70
Entretien et réparations.	47,956 18
Main-d'œuvre du forage.	182,604 31
Forage du puisart, diamètre 1m,35	7,222 01
Cuvelage : Fourniture et mise en place.	222,650 75
Bétonnage : Matériel, matériaux et coulée	31,374 79
Direction, frais de voyage, prime d'entreprise, etc.	114,540 85
Total.	852,689 59

Ce qui donne un prix total moyen de 4,500 francs environ, par mètre.

Si on en déduit sur 205,000 francs environ de matériel à utiliser dans d'autres travaux les 2/3 de cette valeur, soit 136,000 francs, le prix moyen du mètre ressort ici à 3,800 francs.

M. Lippmann termine en faisant remarquer que, dans cette deuxième expérimentation de son procédé, il a eu l'heureuse chance d'avoir à lutter

contre les plus grandes difficultés au point de vue de la nature des roches à traverser, et d'avoir eu l'occasion presque du premier coup, d'aller à la plus grande profondeur qui ait été, croit-il, atteinte et cuvelée jusqu'à ce jour à un aussi grand diamètre. Aussi n'hésitera-t-il pas à appliquer désormais le *forage à niveau plein et à pleine section* pour les puits les plus profonds à foncer à des diamètres de 5 et 6 mètres, et au delà.

M. Hamers demande quelles précautions ont été prises pour assurer la soudure des différentes couches du béton qui entoure le cuvelage, lorsque le coulage en était repris après les arrêts occasionnés par les accidents.

M. Lippmann répond que le coulage du béton s'est fait de jour et de nuit, sans arrêt, et qu'aucune interruption n'a été occasionnée par les accidents sans importance, qui sont arrivés pendant l'opération.

M. Bourdais demande quelle est la composition du béton qui a été employé.

M. Lippmann dit qu'on a coulé un mélange, en volume, de : 1/3 chaux; 1/3 pouzzolane; 1/3 sable du Rhin, additionné d'une certaine quantité de ciment qu'on diminuait au fur et à mesure qu'on approchait de la surface du sol, les sources devenant de moins en moins abondantes.

Sur la demande de M. le Président, M. Lippmann dit que le forage des deux puits en question, a été fait au diamètre de 4^{m},30 pour obtenir un diamètre utile de 3^{m},65 à l'intérieur du cuvelage.

M. le Président remercie M. Lippmann de sa très intéressante communication.

M. Anthoni donne communication de son Mémoire sur la carrosserie à l'Exposition universelle de 1878.

La carrosserie et le charronnage occupaient à l'Exposition universelle de 1878 à Paris un espace considérable et bien en rapport avec l'importance chaque jour plus grande que prend cette branche de l'industrie.

Je résumerai rapidement les dispositions nouvelles et les progrès réalisés dans les principales parties des voitures. Après avoir rappelé les causes qui influent sur le tirage des voitures, j'examinerai successivement les roues, les essieux, les ressorts, les avant-trains, les caisses, les différentes voitures présentant des innovations, et enfin l'odographe, le dynamomètre et le séismographe, appareils enregistreurs qui peuvent servir à constater la vitesse, le tirage et la douceur de suspension des voitures.

Le *tirage* ou l'effort de traction que le cheval doit exercer pour traîner une voiture sur un sol horizontal, est d'autant plus petit que la voiture est plus légère, que les roues sont plus hautes, que le diamètre des fusées d'essieu est plus petit, que le graissage des essieux et que la suspension sont meilleurs. Il faut donc se préoccuper, relativement au tirage, du poids des voitures, de la forme, de la hauteur et de la position des roues, du système de graissage des essieux et des meilleurs systèmes de suspension.

POIDS DES VOITURES.

Au point de vue de la légèreté, on doit d'abord signaler les voitures américaines; l'une d'elles, le sulky, composée de deux grandes roues, d'un essieu, de deux brancards et d'un siège en fer, pesait 25 kilogrammes; c'est une voiture de course destinée à ne porter qu'une seule personne. Le buggy, fig. 52, muni de grandes roues, monté sur ressorts et ayant quatre places, pesait environ 100 kilogrammes, soit 25 kilogrammes de poids mort par personne; pour se servir du marchepied, il faut braquer l'avant-train autant que la grande hauteur des roues le permet et passer entre la roue ainsi inclinée et la caisse. Dans d'autres types de voitures, fig. 53, les marchepieds sont fixés entre les roues, comme dans nos phaétons à portières. Toutes les voitures, genre américain, ont de petits essieux, de grandes roues, sont d'un poids peu considérable et réunissent ainsi plusieurs qualités importantes qui manquent à notre genre européen; ces voitures, très employées en Amérique où, pour aller vite, on sacrifie tout à la légèreté, n'ont pas encore acquis droit de cité chez nous : elles sont bien construites, les détails en sont bien soignés, mais il leur manque le confortable; les roues gênent pour monter et descendre, les ressorts sont trop ouverts et trop rapprochés des caisses qui sont montées trop haut; la stabilité laisse donc à désirer.

Quant au genre lourd, les voitures exposées n'étaient qu'une copie assez exacte de nos voitures françaises, ce qui indique que dans ce genre, il n'y a pas encore de types particuliers aux États-Unis.

Au point de vue de la légèreté, le Canada et l'Australie viennent après les États-Unis, avec des types qui diffèrent peu des précédents.

Puis vient l'Angleterre, dont les voitures sont de formes spéciales, qui les font reconnaître à première vue; tout devient plus solide, la voiture est plus confortable; c'est le genre des voitures françaises, mais avec des formes originales et beaucoup plus de légèreté dans toutes les ferrures; très souvent l'acier remplace le fer.

La Belgique suit nos modes, les ferrures sont plus fortes que celles des Anglais.

L'Autriche-Hongrie, la Russie, l'Italie et la Hollande s'inspirent des modes de Paris et de Londres, mais, à part quelques voitures construites dans les grands centres, les autres sont trop lourdes et ne suivent nos formes que de loin.

La Suisse était représentée par une voiture construite en fer et en acier, pouvant porter quatre personnes et qui ne pesait que 150 kilogrammes. Le poids mort, par personne, est donc dans ce cas de de $37^{k},5$. M. J. Urfer, d'Interlaken, avait été amené à comprendre l'importance de la légèreté des voitures par sa situation au milieu des montagnes du canton de Berne.

Les voitures norwégiennes ne feront sans doute pas école à Paris; je dois cependant signaler ici, au point de vue de la légèreté, ces voitures à deux

roues dont la caisse en forme de coquille est suspendue sur deux ressorts superposés, placés sur chacun des côtés.

A côté de la légèreté américaine, notre construction paraît trop lourde et il est certain que si l'on pesait régulièrement les voitures, on en diminuerait peu à peu le poids, en employant davantage l'acier. Je dois signaler ici, dans cet ordre d'idées, les dessins de voitures en acier, exposés par M. Jeantaud, qui arrive à supprimer complètement le bois dans les caisses et à réduire le poids d'un mylord à 350 kilogrammes. La Compagnie des Petites Voitures et plusieurs autres constructeurs, avaient aussi exposé des produits qui dénotaient la préoccupation de diminuer le poids en réduisant, dans une large mesure, toutes les dimensions, sans nuire à la solidité nécessaire pour résister aux chocs produits par le roulement sur nos routes pavées.

Un mylord pèse environ 420 kil.; en supposant deux voyageurs et le cocher, le poids mort par personne est de 140 kil., et s'il n'y a qu'un seul voyageur, il s'élève à 210 kil.

Un landau pèse environ 650 kil,; en supposant quatre voyageurs et le cocher, le poids mort par personne est de 130 kil., et s'il n'y a qu'un seul voyageur, il s'élève à 325 kil.

Un petit coupé pèse environ 480 kil.; en supposant deux voyageurs et le cocher, le poids mort par personne est de 160 kil., et s'il n'y a qu'un seul voyageur, il s'élève à 240 kil.

On voit par ces chiffres, que l'on peut avec raison appeler nos voitures de luxe des voitures lourdes; comparons-les avec quelques types d'omnibus.

Les voitures de la Compagnie des Omnibus, qui circulent à Paris, ont 28 places de voyageurs, soit trente personnes avec le cocher et le conducteur; le poids à vide de chaque voiture est de 1 710 kil., ce qui correspond à 57 kil. de poids mort par personne. La même voiture chargée pèse 3 650 kil.; chaque cheval traîne donc 1 825 kil.

Le nouveau type, exposé par la Cie, est un omnibus traîné par trois chevaux et ayant 40 places de voyageurs, soit 42 places avec le cocher et le conducteur. Le poids à vide de cette voiture est de 2 600 kil., ce qui correspond à 62 kil. de poids mort par personne. Cette augmentation, relativement à la voiture à 28 places, provient de ce que le cube réservé à chaque voyageur est plus considérable, ces voitures étant bien plus confortables que les anciennes. La même voiture, chargée de 42 personnes, d'un poids moyen de 65 kil., pèse 5 360 kil.; elle est traînée par trois chevaux; la charge que traîne chacun d'eux est donc de 1 786 kil.. soit un peu moins que dans le type actuel à 28 places.

L'omnibus à 6 places intérieures construit par M. Jeantaud, pour la Cie des Petites Voitures, pèse à vide 634 kil.; en supposant deux personnes sur le siège, le poids mort par personne est de 79 kil. Le poids total est de 1 154 kil.; chacun des deux chevaux a donc 577 kil. à traîner.

En résumé le poids mort par personne varie dans les proportions suivantes en supposant les voitures au complet :

	Environ.
Voitures américaines.	25 kil.
» suisse, en fer, de M. J. Urfer.	37,500
Omnibus à 28 places de la Cie des omnibus.	57
» 40 » » »	62
» 6 » de M. Jeantaud.	79
Landau.	130
Mylord.	140
Coupé deux places.	160

D'après ces exemples et pour des charges complètes, on voit que dans les voitures américaines le poids mort est d'environ le tiers du poids d'une personne; dans la voiture suisse, il est de la moitié; dans les omnibus, il est environ égal à ce poids, tandis que dans nos voitures de luxe, il est au moins deux fois plus fort que dans les omnibus. Il faut de plus remarquer que dans nos voitures de luxe, la petite roue est plus chargée que la grande, ce qui augmente encore le tirage; tandis que dans les omnibus, et c'est là leur grand avantage, on peut faire porter la plus grande partie de la charge sur une très grande roue.

Comme terme de comparaison, je dois citer la plus forte voiture de transport exposée jusqu'à ce jour; elle était construite par MM. Sabon et Renault (successeurs de M. Dauvillier). Cette voiture de transport, fig. 69, sur laquelle j'aurai à revenir, pèse 9500 kil., et peut porter 40000 kil. Le poids mort est donc inférieur, dans cette voiture, au quart du poids transporté, tandis que dans la voiture américaine, il est égal au tiers de ce même poids, en admettant 75 kil. comme poids moyen d'une personne : cette différence, qui donne au point de vue de la légèreté relative, la première place au plus lourd chariot exposé, provient du volume occupé par les poids dans les deux cas, volume qui est bien moindre à poids égal pour le matériel de guerre que pour les personnes.

ROUES.

Toutes les voitures exposées, sauf une qui était montée avec des roues en fil de fer et celles de la section agricole, qui pour la plupart avaient des roues métalliques, étaient montées avec des roues en bois.

La roue en bois se compose d'un moyeu, recevant un certain nombre de rais qui se terminent dans la jante.

On pratique des mortaises rectangulaires dans le moyeu pour recevoir les rais, qui sont en général pour nos voitures de luxe au nombre de douze pour la roue de devant, et de quatorze pour la roue de derrière.

Ces rais, emmanchés à force dans le moyeu suivant une direction qui s'éloigne plus ou moins du plan perpendiculaire à son axe, sont dans une surface conique dont chaque génératrice forme avec le plan perpendiculaire un angle qui constitue l'*écuanteur de la roue*.

Lorsque les rais sont ainsi fixés, toutes les mortaises étant juxtaposées, le moyeu est affaibli. On place quelquefois les mortaises sur deux rangs; la surface conique ne contient plus alors les rais que de deux en deux, les intermédiaires étant dans une autre surface conique, d'écuanteur différent; ce système, dit à *rais entrelacés*, fig. 70, affaiblit moins le moyeu, rend ainsi la roue plus solide et donne un meilleur roulage, comme on le verra plus loin.

L'extérieur de la roue se compose d'une jante qui reçoit les extrémités des rais, ou broches, dans des mortaises rectangulaires, cylindriques ou coniques.

La jante se fait le plus souvent en plusieurs pièces chantournées dans un plateau; le bois étant de fil, les extrémités intérieures des joints ou des mentons des jantes se cassent facilement, et, les joints se trouvant au milieu de l'intervalle des deux rais, sont alors dans les parties les plus fatiguées des roues.

On fait aussi quelquefois des jantes en une ou deux pièces, en acacia ou en frêne cintré à la vapeur; mais cette opération affaiblit le bois et les joints placés entre les rais fléchissent alors trop facilement; aussi, au lieu de mettre les joints au milieu de l'intervalle de deux rais, on les place souvent au bout d'un rai; il faut alors une double plaque pour maintenir le joint de chaque côté; un rivet tient ces deux plaques et passe dans la broche du rai, ce qui l'affaiblit un peu.

Les jantes sont maintenues par un bandage en fer, quelquefois en acier, posé à chaud et qui, en refroidissant, vient exercer un serrage énergique sur tous les assemblages de la roue et lui donner une grande solidité.

Le petit bout du moyeu est maintenu par une frette et le gros bout par un cordon. On place aussi quelquefois des cordons derrière et devant les rais surtout dans les roues à rais non entrelacés et pour de fortes charges; le cordon de devant tient difficilement par suite des vibrations des roues et de leur inclinaison provenant du devers de l'essieu.

Examinons la position que doit occuper successivement chaque rai, quand il supporte le poids de la voiture, et l'influence du profil en travers des routes.

Position des rais. Pendant que la roue tourne, chaque rai porte successivement le poids de la voiture, et on peut, à ce moment, le comparer à une colonne dans une construction; sa position doit donc être verticale : or, les voitures roulant sur des routes dont le profil en travers se rapproche d'un arc de cercle, le rai ne peut tomber verticalement que dans l'axe de la route, tandis qu'à droite et à gauche, il porte obliquement; dans cette dernière position, l'équilibre de la roue n'a plus lieu et elle tomberait si elle n'était retenue par la fusée d'essieu sur laquelle la boîte de roue produit une sorte de coincement : la boîte, au lieu de porter sous toute l'étendue du dessous de la fusée, n'a plus que deux points de contact avec elle, l'un en dessous à un bout, l'autre en dessus à l'autre bout; la pression par centimètre carré augmente alors dans une grande proportion, et chasse

l'huile, le tirage augmente par suite du mauvais graissage, la fusée chauffe et la boîte de roue peut gripper et s'enrayer sur l'essieu. Cet effet se produit d'autant plus facilement que les voitures sont plus lourdement chargées.

Pour éviter cet inconvénient, il suffit d'entrelacer les rais de façon que la verticale passant dans le milieu du bandage, à son contact sur le sol, soit toujours comprise dans l'angle formé par les génératrices des deux cônes contenant les rais entrelacés, et cela même dans la position la plus défavorable, c'est-à-dire sur les accotements des routes.

L'entrelacement des rais doit donc correspondre au profil en travers des routes sur lesquelles les voitures ont à circuler et l'angle de deux rais entrelacés doit être sensiblement égal à l'angle des deux rayons extrêmes de ce profil.

L'entrelacement des rais pourrait être remplacé par une plus grande largeur dans le sens de l'axe du moyeu, et une moindre largeur dans l'autre sens, donnée près de la patte à chaque rai, qui reprendrait peu à peu sa forme à mesure qu'il s'approcherait de la jante, de façon à avoir une section à peu près constante.

Avec des rais convenablement entrelacés, la roue n'a dans aucun cas de poussée latérale; la circulation de l'huile se fait alors entre les surfaces sous la pression prévue, l'essieu ne peut chauffer et le coefficient de frottement étant réduit au minimum, le roulage se fait dans les meilleures conditions possibles.

Influence du profil en travers des routes. — Pour que les bandages, qui sont cylindriques, portent de toute leur largeur en roulant sur le sol, il faut que leurs bords lui soient perpendiculaires, et pour cela que les plans passant par les bords des bandages se rencontrent au centre du profil en travers de la route. L'écuanteur de la roue, de même que le devers de l'essieu qui doit lui correspondre exactement, doivent donc varier suivant la distance entre les deux roues et être égaux à la moitié de l'angle formé par les plans des deux roues, placés dans les conditions ci-dessus.

Écuanteur des roues. — Pratiquement on donne aux roues de carrosserie un écuanteur qui varie de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{10}$ et qui est souvent plus grande pour les roues de charronnage montées sur des fusées coniques.

La roue sans écuanteur, à rais non entrelacés, n'est pas solide, parce que la moindre flexion des rais, en les rendant plus courts, enlève ainsi le serrage du cercle.

L'écuanteur rend la roue plus solide, deux rais opposés formant un triangle avec le plan du cercle qui les maintient solidement; elle l'empêche de s'aplatir par les chocs contre les trottoirs; le bandage se trouve plus écarté de la voiture, il laisse ainsi plus de place aux renflements des caisses et projette la boue en dehors.

La roue à rais entrelacés, avec ou sans écuanteur, présente les mêmes avantages et est plus solide, le moyeu formant un triangle avec deux rais successifs quelconques; elle résiste aux chocs intérieurs contre les pavés, aussi bien qu'aux chocs extérieurs contre les trottoirs et est ainsi complètement indéformable.

Dans la roue ordinaire, si la pression du bandage empêche la roue de s'aplatir, elle ne l'empêche pas de prendre plus d'écuanteur par l'usage et par l'effet des chocs intérieurs ; il faut alors châtrer la roue, c'est-à-dire refouler le cercle qui n'a plus de serrage et le reposer à chaud, ce qui quelquefois change l'écuanteur de la roue et donne alors un mauvais roulage.

Position des roues. — Une question qui préoccupe souvent l'acheteur est d'avoir une voiture à train court, c'est-à-dire dans laquelle les essieux soient peu éloignés, pensant ainsi diminuer le tirage. Or, la règle à suivre est de charger autant que possible la grande roue : dans les omnibus, la porte étant derrière, on peut avancer la grande roue sous la charge et lui faire porter beaucoup plus qu'à la roue de devant. Le bon résultat que donne cette voiture provient de la position de la grande roue sous la charge et non de ce que le train est court. Dans toutes les voitures, ayant les portes sur les côtés, on ne peut avancer la roue d'arrière, puisqu'il faut laisser l'ouverture à la porte, et si on rapproche alors la petite roue, pour raccourcir le train on augmente sa charge et par conséquent le tirage.

LES ROUES A L'EXPOSITION DE 1878.

Les différents genres de roues employés dans l'industrie de la voiture étaient représentés par plusieurs expositions importantes. Dans la section française je citerai les deux grandes roues de fardier montées sur leur essieu, exposées par MM. Bahuchet et Rivière ; les roues du chariot de MM. Sabon et Renault, destiné à porter 40000 kilogr. ; ces roues, à beaucoup près, les plus fortes de l'Exposition avaient des bandages de 32 centimètres de largeur et de 45 millimètres d'épaisseur, qui pesaient 175 kilogr. pour chaque roue de devant, et 275 kilogr. pour chaque roue d'arrière; les roues d'avant avaient $1^m,10$ de diamètre et celles d'arrière $1^m,40$.

Les roues du chariot destiné à porter 14000 kilogr. de MM. Lemercier et Larochette et celles du chariot de MM. Chambard et Cuillier, d'Auxerre, étaient aussi remarquables par leur force. Cette dernière maison exposait une belle collection de roues munies de leurs essieux, pour voitures agricoles.

Les roues de M. Hannoyer et de MM. Colas et Cie présentaient des types exacts et parfaitement exécutés de nos roues de carrosserie et de charronnage.

L'exposition belge de MM. Duhamel et Cie présentait des roues bien construites pour carrosserie et voitures de transport.

L'exposition russe montrait des roues à rais très entrelacés dont les

formes s'éloignaient un peu des nôtres; l'essence du bois n'était plus la même; ces roues étaient en chêne, comme on le fait en France pour les voitures de gros charronnage, tandis que nos roues de carrosserie ont d'habitude le moyeu en orme, les jantes en frêne en une, deux ou plusieurs pièces, et les rais en acacia, le tout réuni par un bandage en fer posé à chaud.

Les roues anglaises étaient un peu plus légères que les nôtres et bandées en acier; celles du Canada et les importantes expositions des États-Unis nous montraient presque exclusivement le genre léger et les résultats du travail mécanique.

Dans ces roues américaines, les jantes sont faites en une ou deux pièces cintrées à la vapeur; les joints se font au-dessus des rais. L'emploi exclusif du bois d'hickory (espèce de noyer d'Amérique) qui a une résistance supérieure à celle des essences que nous employons pour nos roues, à la condition d'être coupé dans la saison convenable (entre les mois de juillet et de janvier), a permis aux constructeurs d'obtenir une grande légèreté sans nuire à la solidité. Les rais sont très fortement entrelacés, dans un grand nombre de ces roues; ce mode de construction coupe moins le moyeu, les mortaises étant sur deux rangs, et le moyeu forme avec deux rais successifs quelconques un triangle dans le sens de l'axe de la roue; il en résulte une plus grande solidité; les fusées portent mieux dans les boîtes, l'essieu ne peut chauffer et le roulage est bien plus facile.

Pour consolider les moyeux, qui sont très petits, on avait exposé plusieurs systèmes; l'un d'eux consistait à serrer la base des rais, près du moyeu, par deux rondelles métalliques, que l'on reliait par des rivets dont les têtes formaient saillie.

Pour éviter cet inconvénient, d'autres roues présentaient la disposition suivante : les deux rondelles étaient fondues ensemble et réunies par des cloisons qui séparaient les rais; ce système ne permet pas de faire des rais entrelacés. Pour empêcher la sortie des rais, M. Seidle avait exposé un système analogue, mais dans lequel au milieu de chaque mortaise se trouvait un coin parallèle aux cloisons, fondu avec les deux rondelles et servant à fendre le rai, quand on l'enfonce dans le moyeu; l'élargissement ainsi produit emprisonne le rai dans le moyeu et rend la roue très solide, fig. 71.

MM. Hoopes frères et Darlington avaient exposé le système Dorman, analogue au précédent et qui en diffère en ce que le coin n'est pas fondu, la mortaise est libre comme dans le second système; on scie le bout du rai en deux endroits et on y introduit deux coins en bois; en enfonçant le rai, les deux coins s'enfoncent en même temps et élargissent la base du rai, qui force dans la mortaise du moyeu; ce procédé, qui est très employé, rend de même la roue très solide.

Les anciennes roues avaient un écuanteur bien plus considérable que celui donné actuellement aux roues de carrosserie; on pouvait voir encore un spécimen de ces anciennes formes dans les roues exposées par l'artillerie hollandaise; le rai posant sur le sol, était loin d'être vertical; cette

forme était adoptée dans l'intention de ne faire tomber le rai d'aplomb que sur le côté incliné de la route pour la roue la plus chargée, de résister aux chocs contre les trottoirs, car la roue ne peut s'aplatir, étant solidement maintenue par le cercle, et enfin de donner de l'élasticité par la flexion des rais; cette flexion, si elle existe, ne peut se produire qu'au détriment de la solidité; car si le rai est élastique, sa flexion augmente l'écuanteur et le bandage perd son serrage; par la même raison, cette roue résiste moins bien aux chocs intérieurs qui sont très fréquents dans les glissements transversaux sur les pavés; elle est dans de très mauvaises conditions au point de vue du roulage; de plus la charge de la voiture et la pression du cercle fatiguent les pattes des rais et les mortaises des moyeux. Avec des roues à rais convenablement entrelacés, on peut avoir toujours un rai tombant d'aplomb sur chaque côté des routes, sans avoir aucun des inconvénients précédents.

Dans les machines agricoles beaucoup de roues avaient aussi ce défaut, ces roues avaient, en général, des rais en fer et des moyeux en fonte et presque toutes avaient de l'écuanteur; or, les essieux de ces machines n'ayant pas de devers, c'est-à-dire l'axe de la fusée n'étant pas incliné par rapport à l'axe de l'essieu, l'écuanteur de la roue était nuisible puisqu'il faisait tomber le rai obliquement : or, il est important que l'écuanteur de la roue soit en rapport avec le devers de l'essieu, de façon que les rais tombent d'aplomb sur un sol horizontal.

La roue est la partie de la voiture qui fatigue le plus, car elle reçoit sans intermédiaire tous les chocs provenant des aspérités du sol.

On a cherché à amortir ces chocs et surtout à donner à la voiture une grande douceur en employant le caoutchouc, soit autour des cercles, soit entre la boîte et le moyeu.

Bandages en Caoutchouc. — Plusieurs systèmes de bandages en caoutchouc étaient exposés; l'un des plus anciens, exposé par M. Meyer, était appliqué à des roues ayant des rais en fil de fer, vissés dans le moyeu et rivés dans la jante. Le caoutchouc est sous forme de tube dont l'ouverture, très petite, est remplie par un fil de fer dont les extrémités taraudées en sens inverse sont réunies par un écrou, qui donne au bandage le serrage nécessaire dans la jante creuse, en forme de demi-cercle. C'est le système généralement appliqué aux roues de vélocipèdes ou de voitures légères. Le même système est employé sur les roues en bois; dans ce cas le bandage est en fer en U.

Des roues légères avaient une jante en bois d'une seule pièce dont les extrémités étaient réunies par une ferrure; le bandage en caoutchouc était collé directement sur le bois et il n'y avait pas de bandage en fer.

Pour les voitures du genre lourd, il y avait plusieurs systèmes de bandages en caoutchouc appliqués sur des roues ayant les moyeux et les rais en bois comme d'habitude.

Plusieurs voitures dans la section russe étaient entièrement en bois avec

bandage en fer en U, contenant un caoutchouc fixé comme ceux des vélocipèdes, soit en tendant et collant le caoutchouc dans le fer, soit par l'emploi d'un fil intérieur.

Dans la section anglaise, M. F. Mulliner avait exposé des roues ayant aussi des jantes en bois et un cercle en fer ordinaire; le bandage en caoutchouc était maintenu sur les côtés par deux disques en fer boulonnés sur la jante en bois qu'ils affleuraient en dedans et dépassaient à l'extérieur pour se terminer par un rebord rentrant de chaque côté dans une rainure réservée au bandage en caoutchouc, fig. 73.

Dans tous les systèmes précédents, le caoutchouc se lamine entre le sol et le fer de la roue sous le poids de la voiture et il tend à se produire un mouvement d'avancement du cercle en caoutchouc par rapport au bandage. C'est ce mouvement qui faisait sortir du fer les anciens bandages en caoutchouc d'une seule pièce, montés sans fil de fer intérieur, et qui n'étaient maintenus que par la tension du caoutchouc et c'est aussi ce même mouvement qui, dans les bandages en caoutchouc, comprimés par un fil de fer, produit quelquefois la fente du bandage dans le sens de sa longueur.

Pour éviter ces inconvénients, on a employé des bandages en caoutchouc mou, soudé à un caoutchouc durci, fixé lui-même sur une forte toile; ce système empêche complètement le mouvement d'avancement et rend inutile l'emploi du fil de fer intérieur, mais il faut mouler le bandage en caoutchouc dans un fer en U préparé d'avance et ajusté à la roue, puis les mettre au four pour vulcaniser le caoutchouc : il faut donc supprimer la jante en bois.

Dans le système de MM. Jeantaud et Menier, au lieu de cette forte toile, on interpose une épaisseur de caoutchouc souple entre le cercle en fer en U et le caoutchouc durci, qui est recouvert d'une forte épaisseur de caoutchouc mou, pour le roulement sur le sol. On prépare la roue avec moyeu et rais en bois; comme il n'y a pas d'autre jante que le fer en U, on fixe sur le cercle, au moyen de vis taraudées, des douilles à deux oreilles qui reçoivent les extrémités des rais; on démonte le cercle, on y moule le bandage en caoutchouc, on passe au four, et quand le bandage en caoutchouc est en place, on remonte la roue; le serrage est obtenu en donnant un peu plus d'écuanteur à la roue, au moment de la pose du cercle; puis la roue reprenant sa forme, son diamètre augmente et le bandage se trouve solidement fixé par les vis des douilles et la pression des rais. M. Jeantaud avait exposé un coupé monté avec des roues de ce système, fig. 74, qui me paraît bien supérieur aux précédents.

L'emploi du caoutchouc autour des roues augmente leur durée, diminue les secousses provenant du sol, donne beaucoup de douceur à la voiture et la rend très silencieuse, le bruit de roulement sur le pavé n'existant plus et les autres bruits étant bien amortis; ces avantages sont fort appréciés de beaucoup de clients, mais le prix très élevé de tous ces systèmes en restreint forcément l'usage.

Interposition du caoutchouc entre la boîte et le moyeu. — Pour arriver à un résultat analogue au point de vue de la douceur de la voiture, j'avais exposé un système de bobines ou bagues coniques en caoutchouc, placées entre la boîte d'essieu et le moyeu, de façon à les isoler complètement. Les vibrations ne pouvant plus être transmises de la roue à la voiture que par l'intermédiaire du caoutchouc, sont ainsi considérablement amorties, de même que le bruit de bourdonnement des caisses qui est le résultat de ces vibrations. Le mouvement à obtenir dans ce système n'est pas vertical; les ressorts suffisent amplement à donner de la souplesse dans ce sens, mais les chocs transmis par les roues dans leur roulement sur les aspérités du sol, n'ont pas seulement la direction verticale; il y a les chocs en avant, dans le sens de la traction, produits par la rencontre de ces aspérités; et les chocs latéraux produits par le glissement de la roue contre les pentes des pavés. C'est contre ces deux mouvements surtout, que les bobines en caoutchouc, en permettant à la roue des mouvements d'oscillation latérale, ont leur incontestable utilité; il faut donc rendre ce mouvement d'oscillation facile, en mettant les épaisseurs de caoutchouc les plus fortes aux deux extrémités du moyeu, fig. 81 : la forme conique remplit parfaitement cette condition.

Un système du même genre était exposé dans la section des États-Unis et avait été appliqué à un certain nombre de voitures. Dans ce système les manchons en caoutchouc sont cylindriques et évidés aux deux extrémités pour loger l'écrou de serrage et la tête de la boîte; le moyeu est plus affaibli près de l'enrayage et la souplesse est moins grande que dans le système précédent.

Ces deux systèmes demandent un boîtage parfait et exigent une machine spéciale à percer les moyeux, en se centrant parfaitement sur le cercle.

Machines à roues. — Il y avait dans la section française de très belles expositions de machines à faire les roues, entre autres des machines à faire six rais à la fois; la machine à tourner les moyeux avec un outil ayant le profil exact que l'on veut obtenir, et qui fait l'opération en moins de deux minutes; la machine de M. Colas à embattre les roues, avec un cercle à une très basse température, de façon à éviter de carboniser le dessus de la jante; cette opération se fait au moyen d'une série de leviers mus par la presse hydraulique; on exerce une pression énergique sur le pourtour de la roue qui est ainsi régularisée, les jantes prennent leur courbure définitive et tous les joints viennent porter. On place alors sur la roue le cercle qui vient d'être mandriné et est aussi bien rond; une basse température suffit alors pour qu'on puisse mettre le bandage en place sans difficulté et pour qu'il serre suffisamment étant refroidi.

Toutes ces machines ne peuvent servir qu'à des fabricants spéciaux de roues; les carrossiers n'ont pas, en général, assez de roues à faire, pour les occuper suffisamment et en retirer une économie de main-d'œuvre qui puisse en amortir l'installation. Il n'en est pas de même des machines à

souder, à cintrer les cercles, à percer, qui n'étant pas d'un prix élevé trouvent avantageusement leur place dans tous les ateliers et facilitent beaucoup le travail. Ces machines étaient en assez grand nombre à l'Exposition. Je citerai encore une machine américaine à mortaiser les moyeux et à faire les pattes et les broches des rais et une machine à percer, de MM. Sculfort et Mailliard, pouvant aussi mortaiser les moyeux sous un angle variable suivant l'écuanteur de la roue, machine qui me paraît simple et bien disposée.

A cause de l'heure avancée, M. le Président demande à M. Anthoni de vouloir bien remettre la suite de sa communication à la prochaine séance.

Séance du 6 Juin 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 mai est adopté.

M. ANTHONI donne la suite de sa communication sur la carrosserie à l'Exposition universelle.

ESSIEUX.

Le fer est, depuis longtemps, la seule matière employée à la fabrication des essieux de voitures; jusqu'à présent on n'a fait que très rarement des essieux en acier; il y aurait cependant, au point de vue de la légèreté, intérêt à employer des aciers doux, surtout en amortissant les chocs par l'emploi du caoutchouc, ce qui permettrait de réduire les dimensions sans danger.

L'essieu se compose de deux parties principales : le corps, partie de l'essieu comprise entre les deux rondelles, et les fusées ajustées dans les boîtes fixées dans les roues.

Les *corps d'essieu* des voitures exposées avaient presque tous la forme suivante : ils étaient ronds au milieu, puis devenaient huit pans et enfin carrés près des rondelles et sous les patins qui supportent les ressorts.



Le dessin ci-dessus représente la moitié d'un essieu patent avec patin à brides.

Dans quelques voitures, la partie carrée était posée sur quarre, au lieu de l'être à plat.

Les essieux pour lourdes charges ont souvent le corps carré ou un peu méplat dans toute leur longueur.

Plusieurs exposants belges avaient adopté cette dernière forme, mais en arrondissant les côtés : la section avait ainsi une forme olive aplatie en dessus et en dessous.

M. Kolber de Buda-Pesth avait exposé un chariot de chasse avec l'essieu encastré dans le bois et percé pour recevoir la cheville ouvrière.

Dans l'exposition russe et dans l'exposition autrichienne, il y avait aussi deux voitures ayant un essieu dont le milieu formait douille pour recevoir la cheville ouvrière. Avec ces montages, les ressorts sont fixés à la voiture et ne tournent pas avec l'avant-train. Dans une autre voiture russe, l'essieu était arrondi entre le ressort et la rondelle pour recevoir les extrémités des brancards; l'attelage se faisait directement à l'essieu.

Le patin le plus employé est celui qui permet de monter le ressort avec deux brides; le patin à boulons n'a que la largeur du ressort et oblige à percer deux trous pour réunir les deux pièces; on ne l'emploie que pour des voitures très légères.

Dans les voitures anglaises, les essieux avaient des patins à brides dégagés de chaque côté du ressort, de façon à ne montrer que la partie dans laquelle passent les brides, ce qui rend l'essieu un peu plus léger.

Dans les fortes voitures, souvent le patin était sous l'essieu; le ressort est alors maintenu par des brides, qu'il faut faire extrêmement solides puisqu'elles supportent toute la charge; ce montage permet de baisser le centre de gravité de l'épaisseur de l'essieu et du ressort réunis; or, en baissant le centre de gravité on augmente la stabilité.

C'est dans le même but que beaucoup d'omnibus étaient montés avec des essieux à corps cintrés ou coudés suivant les formes de caisse.

Les essieux montés à la voiture de MM. Lemercier et Larochette et pouvant porter 14 000 kilos, avaient le corps carré et les patins rapportés; les ressorts d'arrière à 15 feuilles étaient placés sous l'essieu, ceux d'avant à 8 feuilles étaient placés sur l'essieu.

M. Lemoine avait exposé un essieu coudé avec un patin surélevé et renvoyé au-dessus du moyeu; cet essieu élève le ressort et réduit le balancement latéral de la voiture.

Fusées d'essieu. — Le *devers* ou *carrossage*, inclinaison de l'axe des fusées sur l'axe du corps, doit correspondre exactement à l'écuanteur de la roue ou à l'écuanteur moyen dans les roues à rais entrelacés.

Le devers pousse la roue contre la rondelle, ménage ainsi l'écrou de l'essieu, s'oppose au déboîtage qui est surtout à craindre avec les boîtes coniques des essieux à graisse et diminue dans les essieux patent la tendance à la fuite d'huile, qui par son poids se maintient du côté hermétiquement fermé de l'essieu (on peut, du reste, obtenir ce résultat par d'autres moyens).

Le devers de l'essieu doit être tel que le profil inférieur de la fusée soit plus bas de quelques millimètres du côté de l'écrou pour ramener la roue contre la rondelle; ce profil inférieur doit rester dans les mêmes conditions pour toutes les formes de fusées; le devers de la fusée conique doit donc être plus grand que celui de la fusée cylindrique.

On donne aux fusées d'essieu une légère inclinaison en avant ou *serrage*, qui a pour but de contrebalancer la flexion du corps d'essieu dans le sens de la traction et de placer les fusées et le corps d'essieu dans le même plan vertical, quand la voiture chargée roule au trot sur le pavé, c'est-à-dire quand elle est dans les conditions les plus défavorables.

Le devers a cet inconvénient que la moindre inclinaison de l'essieu, en avant ou en arrière de sa position normale, recule ou rapproche les cercles des roues, à la hauteur du centre, et le roulement ne peut se faire qu'avec un glissement latéral qui augmente le tirage et détériore la route.

La résistance au glissement des fusées d'essieux dans leurs boîtes, quoique peu considérable relativement à la résistance au roulement, peut, avec un mauvais montage, prendre une grande importance et produire l'enrayage de l'essieu; il y a donc lieu de s'en préoccuper.

Pour donner à cette résistance sa plus petite valeur, il faut donner à la fusée une surface de glissement assez considérable pour que l'huile puisse se maintenir facilement entre les surfaces et construire la roue de façon que le contact avec la boîte se fasse toujours sous la surface de la fusée, sans que le coincement, dont j'ai déjà parlé, soit jamais possible. Il faut aussi choisir le meilleur système de graissage.

Après avoir employé exclusivement la graisse, on a perfectionné les essieux et on a adopté généralement ceux qui sont lubrifiés à l'huile.

Il y a quatre genres principaux de fusées d'essieux :

1° L'essieu à graisse ou ordinaire;
2° L'essieu demi-patent;
3° L'essieu patent à graisse;
4° L'essieu patent à l'huile.

Essieux à graisse. — Ce genre d'essieu n'était appliqué qu'aux voitures les plus communes, surtout aux voitures agricoles, pour lesquelles on recherche avant tout le bon marché de construction; mais la nécessité dans laquelle on se trouve de les graisser très fréquemment, en rend l'entretien coûteux et ils sont par suite moins avantageux que les autres systèmes malgré leur plus bas prix d'achat.

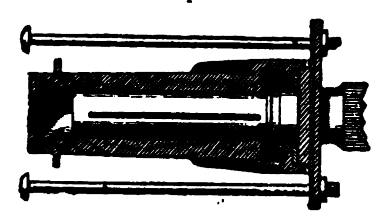
L'essieu à graisse a une fusée conique, la boîte est retenue par un écrou à chapeau; le dessus de la fusée est plat, pour former réservoir de graisse, sans diminuer la surface en contact sous la fusée; une rainure en forme d'hélice est creusée dans la boîte. Le jeu longitudinal ou battement laisse échapper la graisse.

On peut éviter cet inconvénient en plaçant des rondelles en cuir ou mieux des ressorts aux deux extrémités de la boîte, ce qui forme le battement élastique, que je décrirai plus loin.

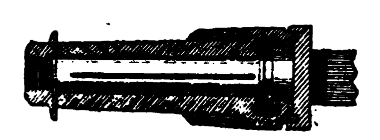
Il y avait de belles expositions d'essieux de charrette à corps carré ou méplat; les fusées sont semblables à celles des essieux à graisse, mais il y a une clavette devant l'écrou; quelquefois l'écrou est remplacé par une simple rondelle, maintenue par une clavette carrée très solide.

Les plus forts essieux à graisse étaient montés au chariot destiné à porter 40000 kilos, de MM. Sabon et Renault, les fusées avaient 180 millimètres de diamètre, les boîtes étaient en bronze. Ces deux essieux avec leurs boîtes pesaient environ 1000 kilos.

L'*essieu demi-patent* est très employé en Angleterre pour les voitures de commerce et de transport. La roue est retenue sur l'essieu à fusée cylindrique par une contre-plaque en deux pièces qui s'emmanche derrière la rondelle soudée de l'essieu et est fixée au moyeu par des boulons qui le traversent. Ce système donne une très grande sécurité, mais il est difficile à régler et l'huile s'échappe constamment derrière le moyeu; de plus, on ne peut monter ni démonter facilement, car il faut se placer entre les roues pour serrer les écroux. Cet essieu se graisse à l'huile.



L'*essieu patent à graisse* a des fusées cylindriques, il est monté du côté de la rondelle exactement comme l'essieu patent, et de l'autre côté il porte un écrou en fer, garni d'un cuir, contre lequel vient frotter le bout de la boîte. Le graissage doit se renouveler assez souvent. Pour empêcher l'écrou de se desserrer, on taraude l'une des fusées à droite et l'autre à gauche et on place les fusées de façon que la roue en tournant serre l'écrou; mais en reculant, l'effet inverse se produit et l'écrou peut se desserrer.

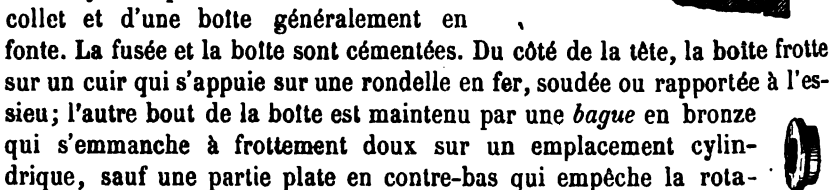


Pour éviter cet inconvénient, MM. Charlet et Pierret avaient exposé un perfectionnement qui consiste à séparer l'écrou en deux; le chapeau de l'écrou n'est pas taraudé, il est ajusté sur le bout de la fusée, qui porte à cet effet une partie plate, et ne peut ainsi être entraîné dans le mouvement de rotation de la roue; l'écrou vient serrer le chapeau à sa place.

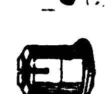
Cet essieu, presque aussi coûteux que l'essieu patent à l'huile, n'est plus employé pour les voitures de luxe.

Essieu patent à l'huile. — Toutes les voitures de luxe, les omnibus, les voitures de commerce et un grand nombre des plus forts camions sont au jourd'hui montés avec l'essieu patent qui donne le meilleur roulage, reste

très propre, se graisse uniquement à l'huile et à de longs intervalles; cet essieu présente donc de grands avantages relativement aux systèmes précédents. La forte voiture de MM. Lemercier et Larochette, destinée à porter 14000 kilos, avait des essieux patent de 100 millimètres. L'omnibus à trois chevaux, de la Compagnie des Omnibus de Paris, avait deux essieux patent à huile, coudés, de 68 et 60 millimètres de diamètres de fusées, montés avec des boîtes en bronze à ailettes extérieures destinées à les maintenir dans le moyeu.



L'essieu patent à l'huile, inventé par John Collinge, en 1787, se compose d'une fusée cylindrique avec un renflement ou collet et d'une boîte généralement en fonte. La fusée et la boîte sont cémentées. Du côté de la tête, la boîte frotte sur un cuir qui s'appuie sur une rondelle en fer, soudée ou rapportée à l'essieu; l'autre bout de la boîte est maintenu par une *bague* en bronze qui s'emmanche à frottement doux sur un emplacement cylindrique, sauf une partie plate en contre-bas qui empêche la rotation. La bague est maintenue le plus souvent par deux écrous, se vissant l'un à droite et l'autre à gauche. Une goupille fendue est placée devant le second écrou, et un chapeau en cuivre jaune recouvre le tout. Les deux écrous se maintiennent mutuellement; mais aussitôt que l'on serre les écrous pour enlever le jeu longitudinal produit par l'usure de la bague et du cuir, la clavette ne touche plus le second écrou et n'empêche plus les écrous de se desserrer. En pratiquant des entailles à ce second écrou, on évite cet inconvénient. Plusieurs constructeurs, notamment la Compagnie des Omnibus, emploient ce système auquel M. P. Anthoni a donné le nom d'écrou de sûreté, et avec lequel on peut serrer par sixième de tour.



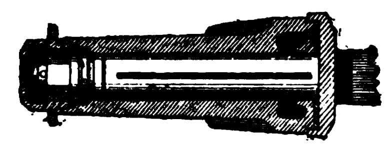
Dans les essieux patent, le second écrou reçoit seul tous les chocs, comme on peut s'en rendre compte facilement, et devrait être plus long que le premier qui ne sert que de butée mobile, permettant de régler le jeu longitudinal.

Un fabricant anglais avait exposé un essieu patent dans lequel la bague et l'écrou étaient d'un seul morceau; une pièce ayant intérieurement la forme six pans de l'écrou, et percée pour la clavette d'un trou correspondant à celui de l'essieu, empêchait l'écrou de tourner et permettait de régler d'un sixième de tour comme avec l'écrou de sûreté. Dans ce système, le frottement de la boîte entraîne l'écrou; tandis que dans l'essieu patent la bague, qui ne peut tourner sur l'essieu, supporte ce frottement; de plus, l'écrou unique n'ayant pas de butée n'est pas dans les conditions voulues pour résister aux chocs.

M. Hannoyer avait exposé « un essieu avec un seul écrou indévissable. » La bague forme rochet du côté de l'écrou, qui laisse passer par un trou percé dans son épaisseur un pène formant cliquet et rentrant dans le rochet

de la bague; le pène est maintenu par un ressort, le rochet est incliné de façon à permettre le serrage : quand on veut enlever l'écrou, il faut soulever, avec une clef spéciale, le ressort qui pousse le pène dans le rochet. Ce système, qui permet de régler d'une petite fraction de tour, empêche, comme dans l'essieu patent, l'écrou de tourner. La bague est dans de bonnes conditions; mais l'écrou unique sans butée n'est pas non plus dans les conditions voulues pour résister aux chocs, surtout pour de fortes charges.

L'écrou Wiles peut remplacer le second écrou des essieux patent; il n'en diffère que par une fente faite perpendiculairement à l'axe vers le milieu de la hauteur; une vis permet de rapprocher les deux parties et de serrer le filet de l'écrou dans n'importe quelle position. Cet écrou présente donc un avantage sur l'essieu patent, tel qu'il est employé aujourd'hui; mais il constitue une légère complication, et il faut plus de soin pour le montage.



Pour les fortes charges, on emploie l'*essieu* dit *d'omnibus*, qui a été établi, en 1845, par M. P. Anthoni, pour les Omnibus de Paris; quelquefois on supprime le collet, comme l'indique le dessin ci-contre. La tête de la boîte est plate, ce qui donne plus de portée à la rondelle; la bague est maintenue en place par un seul écrou à entailles ou sans entailles.

L'écrou à entailles, qui permet de régler le jeu à mesure qu'il se produit, ne tient sur la vis que par le frottement du filet sans s'appuyer sur un épaulement. Les chocs transversaux de la roue matent le filet, qui s'incline peu à peu et finit par s'user complètement; un dernier choc fait passer l'écrou par-dessus le filet; la clavette est bientôt cisaillée et la roue tombe. La clavette ne peut servir qu'à empêcher l'écrou de tourner, mais elle est trop faible pour résister seule aux chocs de la roue quand l'écrou est usé. L'écrou anglais et l'écrou indévissable présentent ce même inconvénient.

L'écrou sans entailles est serré à fond contre l'épaulement de la bague, qui lui sert de butée fixe. Ce montage, qui est le plus solide, ne présente pas les inconvénients du précédent; je l'avais appliqué à un essieu patent de 105 millimètres, à patins, le plus fort qui ait été exposé.

Cet écrou ne pourrait s'appliquer sans modification aux essieux des voitures de luxe, parce qu'on ne peut enlever le jeu longitudinal qu'en changeant le cuir; or, comme on ne peut le changer constamment et que l'usure est constante, il s'ensuit qu'il y a toujours du jeu sur la longueur et que l'huile peut fuir.

Pour éviter la fuite d'huile, on coupe la rondelle de cuir aussi juste que possible sur le collet de l'essieu; si les écrous sont serrés de façon à ne pas laisser de jeu sur la longueur, l'huile ne peut passer.

Pour empêcher le cuir de tourner, MM. Belvallette frères font faire des

stries aux collets de leurs essieux. MM. Laurent frères emploient dans le même but un cuir embouti qui recouvre la tête de la boîte et rend impossible l'introduction des corps étrangers, puisqu'il n'y a jamais de jeu entre la rondelle et l'extérieur de la boîte; le frottement est légèrement augmenté. Ce système s'applique surtout aux essieux à graisse.

Pour éviter la fuite d'huile et donner de l'élasticité longitudinale, j'avais exposé un *essieu patent* à *battement élastique* dans lequel la boîte, maintenue entre deux rondelles élastiques ou ressorts, placés à chacune de ses extrémités, peut se mouvoir dans le sens de la longueur de la fusée ; la dilatation des rondelles compense l'usure de la bague, et la boîte peut ainsi rouler pendant un certain temps sans qu'il y ait de jeu sur la longueur, fig. 81.

La bague a une forme symétrique et peut se placer indifféremment des deux côtés, ce qui évite toute erreur de montage, permet de l'user deux fois et augmente un peu la longueur de la fusée, ce qui diminue d'autant la pression par centimètre carré et facilite la circulation de l'huile. L'élasticité longitudinale obtenue par le battement élastique protège la voiture contre les mouvements transversaux des roues et contre une partie des chocs provenant des inégalités du sol.

Les essieux à graisse, qui ont du jeu sur la longueur, permettent aux roues des mouvements transversaux qui n'entraînent pas la voiture. Les boîtes, tout en roulant, peuvent aussi, grâce à ce jeu, glisser dans le sens de la longueur de la fusée; la roue choisit, pour ainsi dire, son chemin entre les sinuosités des joints des pavés, et l'expérience prouve que les voitures montées avec des essieux à graisse ayant du battement donnent moins de tirage sur le pavé que celles montées avec l'essieu patent à huile, qui n'a pas de jeu longitudinal.

L'essieu patent à battement élastique est plus facile à monter, puisqu'on peut mettre la bague indifféremment des deux côtés et qu'il suffit de serrer l'écrou à fond, le réglage se faisant seul par les ressorts dont l'élasticité forme un joint hermétique évitant la fuite d'huile; enfin, il laisse aussi la roue se mouvoir librement dans le sens de la longueur de la fusée sans entraîner la voiture et donne par ce fait un peu moins de tirage que l'essieu patent. Les systèmes d'application du caoutchouc autour des roues et entre le moyeu et la boîte, déjà décrits, et l'interposition du caoutchouc entre le ressort et l'essieu, dont il sera question plus loin, produisent plus facilement ce dernier résultat.

Enrayage des essieux. — Quand l'essieu patent est mal soigné, la boîte chauffe, grippe, s'enraye sur la fusée et met la voiture momentanément hors de service.

Les principales causes d'enrayage sont les suivantes :

1° Le manque d'huile dans les réservoirs ou sa mauvaise qualité;

2° L'huile des réservoirs ne circule pas sur la fusée. (La boîte de sûreté, que je vais décrire, évite cette cause d'enrayage et atténue les autres);

3° La boîte ne tourne pas librement sur la fusée, parce que la fusée ou la boîte se sont faussées ou ont reçu un choc pendant le montage de la voiture;

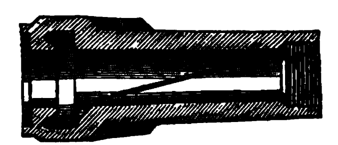
4° L'essieu est trop serré sur la longueur et chauffe; l'huile est chassée par la chaleur, et la boîte tourne à sec. Il résulte de ce frottement à sec que la boîte grippe; elle se lime et laisse détacher des *grains*, suivant l'expression employée; mais dire que l'enrayage se produit parce que la fonte laisse détacher des grains, c'est prendre le résultat pour la cause;

5° Le frottement ne se fait pas sur toute l'étendue du dessous de la fusée, comme je l'ai déjà indiqué en parlant des roues;

6° Dans le transport des voitures par chemin de fer, les vibrations chassent l'huile et matent les fusées dans les boîtes: aussitôt que la voiture commence à rouler, les boîtes peuvent s'enrayer; on évite ce grave inconvénient en graissant les essieux avec un mélange d'huile et de suif, en serrant fortement les écrous, de façon à ce qu'on soit obligé de visiter les roues à l'arrivée, de les nettoyer, et de les graisser de nouveau à l'huile avant de faire rouler. On peut aussi éviter cette cause d'enrayage en mettant un excès d'huile dans les boîtes et les chapeaux; il faut alors, de même, nettoyer les roues en arrivant.

En suspendant les voitures sur leurs essieux et en laissant les roues folles, le transport sur chemin de fer n'aurait plus ces graves inconvénients, qu'il dépend des Compagnies de faire cesser.

La *boîte de sûreté*, que j'avais exposée, diminue les causes d'enrayage en faisant circuler l'huile par son poids d'une manière continue et régulière pendant le mouvement de la roue, et par le moyen même de ce mouvement, dans deux portions d'hélice de sens contraires qui viennent se raccorder par leurs extrémités pour former une courbe continue. Le dessin ci-dessus représente la moitié de la boîte; l'autre moitié a une rainure disposée symétriquement. Quand les roues tournent, l'extrémité de la rainure puise à chaque tour un peu d'huile dans le réservoir; le point le plus bas de la rainure changeant à chaque instant, l'huile qui y est engagée a, par son poids, toujours tendance à descendre pour se remettre en équilibre, elle circule donc constamment. Suivant la vitesse de rotation de la roue, l'huile amenée entre les surfaces frottantes fait à chaque tour un mouvement plus ou moins grand et graisse une nouvelle portion de la fusée qui ne peut ainsi jamais manquer d'huile, tant qu'il y en a dans les réservoirs.



Le graissage régulier et abondant produit par la rainure se trouve dans les conditions voulues pour abaisser le coefficient de frottement à son minimum.

Quelques exposants avaient remplacé les bagues en bronze par des bagues en fer; les boîtes étant généralement en fonte, cet emploi a pour résultat

l'usure de la boîte, il vaut donc mieux employer la bague en bronze qui s'use plus, mais n'abîme pas la boîte et se remplace bien plus facilement.

La Compagnie des Omnibus emploie, depuis longtemps, des boîtes en bronze. L'omnibus à 40 places, qu'elle avait exposé, était ainsi monté. Avec ces boîtes on évite l'enrayage d'une manière certaine; si un essieu chauffe, la boîte peut s'user rapidement, mais le service n'est pas interrompu.

J'avais exposé des essieux montés avec des boîtes en fer cémenté et d'autres avec des boîtes en acier fondu et trempé.

Les Américains et les Anglais emploient pour leurs petits essieux beaucoup de boîtes en fer cémenté, qui sont excellentes, mais d'un prix un peu élevé pour nos essieux, qui destinés à des voitures plus lourdes, sont d'un plus fort diamètre.

RESSORTS.

Leur utilité. — La résistance que le cheval doit vaincre pour traîner une voiture est d'autant plus faible que la suspension est meilleure.

Le ressort amortit les chocs provenant des inégalités des routes, ménage la voiture, la rend moins fatigante pour le voyageur et facilite le roulement en diminuant le tirage. Les efforts sans cesse variables que le cheval doit exercer sur une voiture non suspendue sont remplacés, pour une voiture suspendue, par des efforts moindres et plus réguliers.

Les ressorts ne doivent être ni trop raides ni trop flexibles, pour amortir les chocs sans donner des oscillations désagréables.

D'après le général Morin, sur des routes inégales, la résistance croît moins vite avec la vitesse pour les voitures suspendues que pour celles non suspendues; la suspension doit être d'autant plus parfaite que les voitures doivent marcher plus vite.

Les ressorts doivent donc s'appliquer à toutes les voitures, non seulement aux voitures de luxe auxquelles ils donnent la douceur indispensable, mais aussi aux voitures de transport, pour ménager les chevaux ou leur permettre de traîner sans plus de fatigue un poids plus considérable.

Leurs formes. — Les ressorts sont composés de feuilles d'acier, ajustées l'une sur l'autre, de longueurs décroissantes formant l'étagement et d'épaisseurs variables.

Ces feuilles amincies dans les bouts, qui ont des formes diverses, sont maintenues par des étoquiaux et réunies par un boulon ou un rivet et par un collier pour les ressorts en C.

Les étoquiaux empêchent le glissement latéral des feuilles; on peut les employer de différentes manières.

Les étoquiaux couverts sont les plus employés dans les voitures de luxe.

Les étoquiaux découverts dans la feuille sont quelquefois employés pour les ressorts d'essieux.

Les étoquiaux découverts dans le bout des feuilles sont employés pour les ressorts à rouleaux pour voitures de transport.

Les étoquiaux à recouvrement s'emploient sur la deuxième feuille. Le recouvrement cache la fente; ils sont peu usités.

Quelques voitures du Canada avaient des ressorts formés d'une seule feuille épaisse au milieu et étirée aux extrémités.

Les ressorts doivent être aussi écartés l'un de l'autre que possible pour donner de la stabilité et une meilleure suspension.

Les principaux genres de ressorts sont les suivants :

1° Les ressorts droits, à rouleaux, à cuillers, etc.;

2° Les ressorts pincettes et demi-pincettes;

3° Les ressorts en C et à jambe de force, employés pour les montages à huit ressorts et les ressorts en C formant ressorts d'essieu;

4° Les ressorts à double élasticité, horizontale et verticale, réalisant seuls ou avec la bobine élastique la triple suspension.

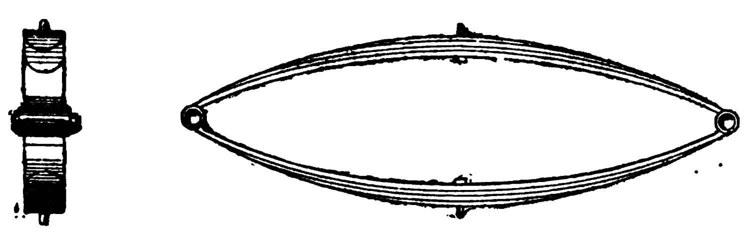
Les ressorts droits sont terminés le plus souvent par des rouleaux, dans lesquels passent les boulons qui les fixent aux supports. Le dessin ci-contre



représente un ressort ayant un rouleau dans le cintre et l'autre hors du cintre. Quelquefois le rouleau est remplacé par des glissoires, parties plates qui portent sur les supports. Dans certains montages, on termine les ressorts par des parties demi-cylindriques auxquelles on donne le nom de cuiller et qui reçoivent un anneau en fer, garni de cuir ou de caoutchouc, qui les relie, au moyen d'une menotte, à deux autres ressorts placés en travers. Ce *montage en châssis* laisse aux ressorts la liberté nécessaire pour l'allongement sous la charge.

Ressorts-pincettes et demi-pincettes. — Les ressorts-pincettes sont formés de deux ressorts droits dont les convexités sont tournées l'une vers l'autre.

Le ressort du dessous est terminé par deux rouleaux qui sont ajustés dans les deux mains qui terminent le ressort du dessus. Ces mains sont

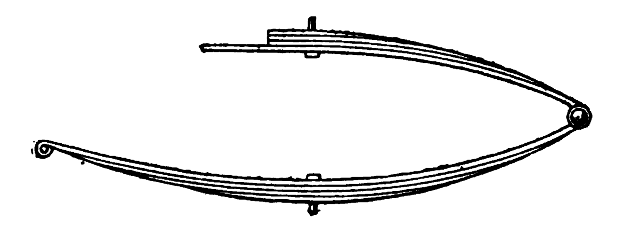


de formes diverses; le dessin ci-dessus représente le ressort-pincette à mains; deux boulons réunissent les ressorts et forment une charnière à

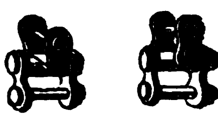
chaque extrémité. La flexibilité de ces ressorts est double de celle des rouleaux qui les composent.

On a remarqué que le ressort inférieur, qui reçoit sans intermédiaire tous les chocs des pavés, s'aplatissait plus que le ressort à mains. Pour rendre les deux ressorts libres de s'allonger, on met quelquefois une jumelle ou un mouvement à l'une des deux extrémités. Les voitures de M. Jeantaud étaient montées avec un mouvement en bronze, qui évite le bruit de grincement des boulons. Anciennement, on terminait l'un des côtés du ressort-pincette par une crosse et une jumelle; il y avait à l'Exposition des ressorts de ce genre montés à l'arrière-train d'une voiture belge. M. Holmes avait à son coupé des ressorts-pincettes à crosse articulée pour laisser les ressorts libres.

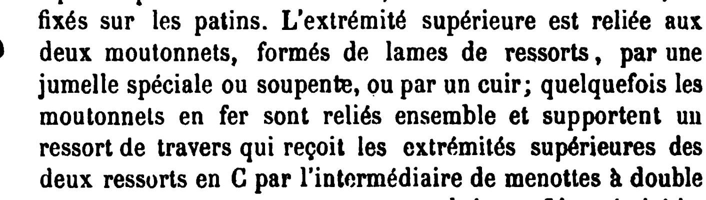
Les ressorts demi-pincettes se font dans les mêmes conditions; le ressort



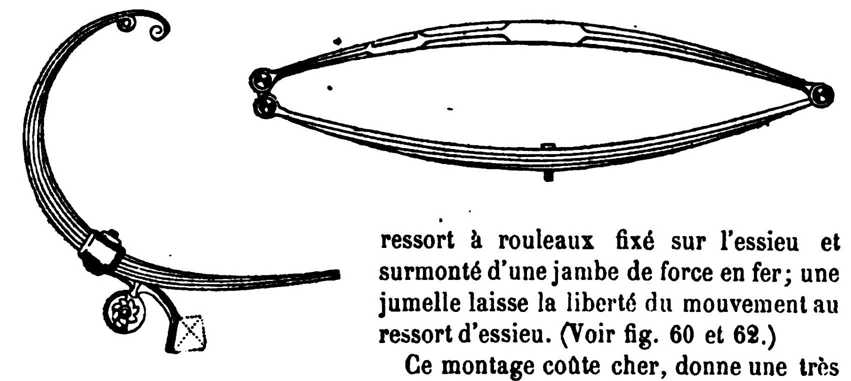
du dessus est coupé, un peu après son milieu, pour être fixé par des boulons aux moutonnets de la voiture; on relie les extrémités libres des deux ressorts inférieurs, ou ressorts d'essieu, par un ressort de travers et deux menottes à simple ou à double brisure, représentées ci-contre; quelquefois, mais rarement, on les fixe directement à la voiture. Le demi-ressort, au lieu d'être droit comme le représente le dessin, est souvent à crosse et donne alors plus de douceur.



Ressorts en C et montages à huit ressorts. — Les ressorts-pincettes sont quelquefois remplacés par des ressorts en C, faisant ressort d'essieu, et fixés sur les patins. L'extrémité supérieure est reliée aux deux moutonnets, formés de lames de ressorts, par une jumelle spéciale ou soupente, ou par un cuir; quelquefois les moutonnets en fer sont reliés ensemble et supportent un ressort de travers qui reçoit les extrémités supérieures des deux ressorts en C par l'intermédiaire de menottes à double brisure. L'extrémité inférieure de ces ressorts est fixée directement à la voiture par deux boulons, ou est reliée par des menottes à simple brisure à un ressort de travers (Voir fig. 56). Il y avait à l'Exposition quelques exemples de tous ces montages.



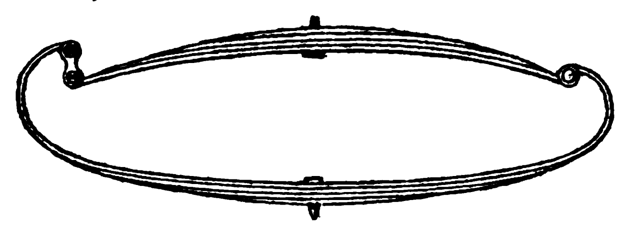
Les *montages à huit ressorts*, dont on pouvait voir de très beaux modèles, exposés par les principales maisons, sont formés de quatre ressorts à jambe de force, surmontés chacun d'un ressort en C portant un cric pour tendre les soupentes en cuir. Les ressorts à jambe de force sont composés d'un



ressort à rouleaux fixé sur l'essieu et surmonté d'une jambe de force en fer; une jumelle laisse la liberté du mouvement au ressort d'essieu. (Voir fig. 60 et 62.)

Ce montage coûte cher, donne une très grande douceur à la voiture, mais aussi un balancement, produisant l'effet du mal de mer, que certaines personnes lui reprochent.

Ressorts à élasticité horizontale. — Ces ressorts ont pour but de donner de la souplesse, non seulement dans le sens vertical, comme tous les ressorts précédents, mais aussi, dans le sens horizontal, et de réaliser la suspension dans tous les sens ou triple suspension. Ces ressorts, que j'avais exposés, sont à double crosse, ou à simple crosse et à jumelles, ou à crosse articulée, etc.



M. Desouches avait appliqué au montage d'un mylord, un ressort dans le genre de la partie inférieure du dessin ci-dessus et l'avait placé en travers sur l'essieu.

M. Belvallette avait exposé un mylord dans lequel l'élasticité transversale était obtenue par un faux patin embrassant latéralement l'essieu autour duquel il pouvait osciller; pour cela l'essieu et les joues du faux patin étaient réunis par un boulon perpendiculaire à l'axe de l'essieu. Ce système donne la souplesse verticale et transversale.

Triple suspension. — Les ressorts employés actuellement dans les voitures dites suspendues ne produisent d'effet que dans le sens vertical et les voitures ressentent intégralement les chocs horizontaux dans le sens de la traction et dans le sens transversal produits par les aspérités du sol ; les

voitures à huit ressorts dont la construction est très coûteuse évitent cet inconvénient.

La triple suspension ou suspension complète des voitures a pour but d'amortir les chocs en donnant à la voiture des *mouvements élastiques dans tous les sens*. Ces mouvements sont obtenus par l'interposition de pièces en caoutchouc d'une qualité spéciale ; ces pièces supportent le poids de la voiture, augmentent la douceur de la suspension, diminuent le tirage et le bruit des caisses et donnent une grande durée à la voiture en amortissant tous les chocs. J'avais exposé pour arriver à ce résultat :

1° Les bagues coniques placées entre la boîte et le moyeu, fig. 81 ;

2° L'essieu à battement élastique, fig. 81 ;

3° Les ressorts à double crosse ou à élasticité horizontale ;

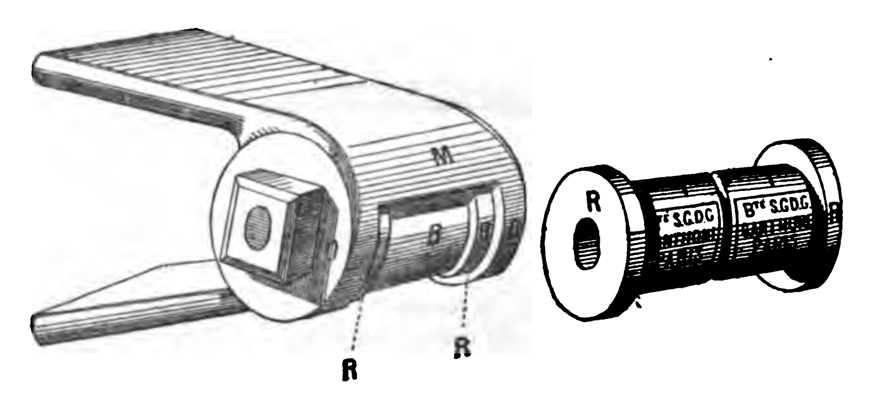
4° La bobine en caoutchouc appliquée dans les rouleaux des ressorts ;

5° La bobine carrée, en caoutchouc, appliquée entre le ressort et l'essieu ;

6° Le double tasseau en caoutchouc, fig. 81.

J'ai déjà décrit les trois premiers systèmes.

La *bobine élastique* isole complètement l'une de l'autre les deux moitiés du ressort, étant interposée entre les deux oreilles de la main, le rouleau et le boulon ; il résulte de cet isolement que les chocs produits par les inégalités du sol et qui se transmettent intégralement au ressort d'essieu ne



peuvent se répercuter dans le ressort à mains que par l'intermédiaire de la bobine élastique et sont ainsi considérablement amortis, soit par le tube, soit par les rondelles de la bobine.

Les deux moitiés T de la bobine sont introduites dans le rouleau B, de façon que les oreilles R viennent toucher le rouleau sur les côtés ; le tout est alors introduit entre les deux oreilles O de la main ; un boulon, que l'on passe dans les deux oreilles et dans le trou de la bobine, relie le tout ensemble.

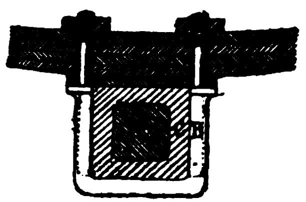
La bobine rend les ressorts beaucoup plus doux ; elle peut s'appliquer à

tous les boulons et à toutes les articulations des voitures ; pour diminuer l'usure, le caoutchouc est garni de cuivre à l'intérieur et à l'extérieur.

La *bobine en bronze* est employée quand on ne cherche qu'à supprimer le bruit de grincement des boulons.

Quelques constructeurs anglais avaient employé des ressorts avec des rouleaux garnis de caoutchouc et d'un tube en cuivre; mais il n'y avait pas d'isolement sur les côtés comme avec le système précédent qui est appliqué à un certain nombre de voitures françaises.

Bobine carrée en caoutchouc appliquée entre le ressort et l'essieu. — Le ressort R est placé sur une bobine carrée en caoutchouc C qui entoure l'essieu E et il est fixé à une bride B qui entoure la bobine; le patin de l'essieu est supprimé et remplacé par des rebords qui maintiennent la bobine et empêchent tout déplacement. M. Jeantaud avait appliqué à toutes ses voitures ce montage qui donne une très grande douceur.



Le *double tasseau en caoutchouc*, fig. 81, présente les mêmes avantages que le précédent et peut s'appliquer aux essieux à patins sans exiger une forme spéciale ; le caoutchouc est recouvert par une plaque à rebord, il entoure les tiges des brides dans leur passage à travers les trous des patins et s'interpose encore entre les écrous de ces brides et le dessous du patin, de façon à les isoler complètement. Les dimensions ordinaires des patins réduisent la pression par centimètre carré à la limite convenable pour éviter l'usure du caoutchouc.

Les courbes du séismographe, représentées fig. 40 à 42, ont été obtenues dans un mylord monté avec ces deux derniers systèmes.

Ce même principe d'*isolement complet* s'applique à toutes les machines ou véhicules dans lesquels on veut amortir les chocs, les vibrations et le bruit, aussi bien aux outils à chocs, qu'aux machines-outils, transmissions, voitures, wagons de chemins de fer, etc.

En employant une bonne qualité de caoutchouc et en réduisant la pression par centimètre carré, on peut dire que sa *durée* est indéfinie : je me sers depuis plus de six ans du même caoutchouc pour amortir les chocs et vibrations d'un marteau-pilon, et les rondelles interposées sont dans un parfait état de conservation.

SUSPENSION DES VOITURES EXPOSÉES.

Une voiture est d'autant mieux suspendue et d'autant plus stable que les ressorts sont plus écartés; avec un train court, la suspension est moins bonne, les mouvements tranversaux et longitudinaux se faisant sentir davantage.

Les voitures à deux roues, les dog-cart et les charrettes anglaises, étaient montés, les uns avec deux ressorts ayant une jumelle derrière, fig. 45,

et quelquefois aussi une jumelle devant; d'autres avec ces deux ressorts reliés à l'arrière par un ressort de travers; ces deux ressorts étaient quelquefois reliés à l'avant et à l'arrière par deux ressorts de travers et formaient le montage en châssis.

Il résulte du savant mémoire présenté à la Société par M. Desmousseaux de Givré sur les mouvements oscillatoires d'une voiture que : « Le roulis « se trouve singulièrement adouci par l'emploi des ressorts transversaux, « tandis qu'il occasionne une trépidation sèche et fatigante dans les véhi- « cules uniquement garnis avec des ressorts latéraux.

« On doit placer les voyageurs près du centre d'oscillation et non sur « les côtés. »

Les voitures montées en châssis seraient donc dans de bonnes conditions. Pour les charrettes anglaises on employait ce genre de suspension; il y avait aussi le montage à deux pincettes de M. King et le montage à deux ressorts en C, terminés par une soupente en fer formant jumelle, de M. H. Mulliner.

M. Kolber, de Buda-Pesth, avait exposé une charrette anglaise dans laquelle le ressort était fixé sous l'essieu par deux jumelles; ce ressort formé de quatre lames séparées par des tasseaux et reliées en leur milieu, venait se fixer à la caisse par deux ferrures verticales partant des extrémités de la dernière feuille. (Voir Pl. 142, fig. 46 et 47.)

Dans toutes ces voitures, les constructeurs cherchent à éviter le mouvement de vannage provenant du trot du cheval. Je reviendrai sur cette question.

Les voitures à quatre roues sont montées d'une infinité de manières. Les camions, les omnibus et les voitures de commerce sont montés en général avec six ressorts droits, dont quatre ressorts d'essieux et deux transversaux; ces derniers sont fixés, l'un sous la caisse, l'autre sous l'avant-train; les ressorts d'essieux sont fixés, à l'avant, à la caisse et à l'avant-train et sont réunis à l'arrière, par des menottes, aux ressorts de travers, fig. 68.

Pour des omnibus plus légers, on remplace le montage à trois ressorts de l'avant-train par deux pincettes; le montage de l'arrière-train se fait quelquefois à deux ressorts : l'omnibus exposé par M. Jeantaud, fig. 67, avec marchepied tournant, était ainsi monté sur des bobines carrées en caoutchouc, avec un essieu à double coude de façon à baisser le centre de gravité et à le rapprocher du centre d'oscillation.

Pour les voitures à 4 roues, le montage le plus simple consiste dans l'emploi de deux ressorts-pincettes placés dans le sens de l'axe et au milieu de l'essieu, dont il faut alors faire le corps plus fort. M. Brewster, de New-York, avait exposé une voiture ayant ce montage, fig. 52 *bis*.

Pour les voitures de luxe, les montages les plus employés sont ceux à quatre ressorts-pincettes, fig. 50, ou ceux à deux ressorts-pincettes devant et à cinq ressorts derrière, fig. 63.

Il y a plusieurs variétés de ce montage à cinq ressorts pour l'arrière-train; e ressort de travers peut être relié aux deux ressorts d'essieu par des menottes à simple ou à double brisure; dans ce dernier cas il y a des trépi-

dations. Le demi-ressort peut être droit; il forme alors le ressort demi-pincette et est relié au ressort d'essieu par un boulon; mais l'allongement inégal des deux ressorts fait buter le ressort d'essieu contre la menotte, ce qui le rend dur et peut fausser le ressort de travers et quelquefois le moutonnet; l'emploi de la menotte à double brisure protège bien le ressort de travers, mais l'attelage de l'essieu ne se fait plus alors que par l'intermédiaire du moutonnet et du demi-ressort dont le boulon vient pousser en avant le ressort d'essieu. Toutes les trépidations sont alors transmises directement du moutonnet à la caisse, et se font sentir d'une manière très désagréable. Le sens de l'allongement du ressort d'essieu est opposé à celui suivant lequel les chocs sont reçus par la roue de façon que le ressort ne peut jouer librement sous la charge.

Si l'on remplace dans le montage à cinq ressorts le demi-ressort droit par un demi-ressort à crosse relié au ressort d'essieu par une jumelle, fig. 65, tous ces inconvénients disparaissent. Le ressort peut jouer librement et la voiture devient plus douce.

Dans quelques voitures on avait, avec ce montage, supprimé le ressort de travers; dans une autre le ressort d'essieu était relié au ressort de travers par une menotte à double brisure et à la crosse par une jumelle; une autre voiture avait un ressort à crosse sans jumelle relié au ressort de travers par une menotte à double brisure.

Pour élever le centre d'oscillation et le rapprocher du centre de gravité, on peut terminer le ressort d'essieu par une crosse renversée, se reliant par une jumelle au demi-ressort droit, fixé au moutonnet. On élève encore plus le centre d'oscillation en employant dans le même but des ressorts en C faisant ressorts d'essieu, reliés par des menottes à un ressort de travers et par deux longues jumelles ou par des cuirs à deux ressorts remplaçant les moutonnets, fig. 56. Dans une voiture belge, les deux moutonnets en fer étaient reliés ensemble et venaient supporter dans leur milieu un second ressort de travers, relié aux extrémités supérieures des deux ressorts en C par des menottes à double brisure, laissant toute liberté à l'allongement des ressorts.

Dans une voiture russe et dans la voiture de M. Armbruster de Vienne, la suspension était faite sur quatre ressorts en C fixés à la caisse et munis de soupentes en cuir; l'essieu était percé pour recevoir la cheville ouvrière; les deux trains étaient réunis par une flèche dans la voiture russe et par deux flèches parallèles dans la voiture autrichienne.

Un phaéton de dame était monté devant avec deux ressorts-pincettes et derrière avec quatre ressorts droits disposés en châssis.

Le mylord de M. Charcot avait un montage nouveau : le ressort à crosse ne se terminait pas au moutonnet auquel il était relié par une jumelle; il allait se fixer à la caisse et pouvait ainsi jouer dans toute sa longueur comme le ressort d'essieu auquel il était de même relié par une jumelle. Le ressort de travers était relié aux ressorts d'essieu par une menotte à simple brisure. (Voir fig. 57.)

Je citerai encore quelques montages spéciaux :

Le mylord de M. Desouches avait devant un ressort-pincette placé dans le sens de l'essieu, et derrière un ressort à double crosse placé de même et donnant la suspension transversale; son spider était monté devant sur quatre ressorts en châssis et derrière sur un ressort de travers, supporté par l'essieu et sur deux ressorts longitudinaux.

Le landau de M. Faurax, fig. 61, avait derrière deux ressorts transversaux; l'un sous la caisse, était relié par des menottes aux deux ressorts d'essieu, dont les extrémités supportaient, par une ferrure dite à télégraphe, le milieu du second ressort de travers, relié lui-même, par deux menottes à double brisure, aux deux ressorts-moutonnets.

Le cab à quatre roues de M. Kellner, fig. 58, était monté derrière sur deux ressorts d'essieux, fixés en avant à la caisse et reliés en arrière par un montage à télégraphe à un ressort de travers.

Le phaéton de M. Binder était monté sur quatre ressorts à jambe de force reliés par une flèche; ces ressorts étaient surmontés de deux châssis, formés chacun de quatre ressorts droits.

M. Locati avait exposé un landau, monté sur quatre ressorts à jambe de force, reliés par une flèche; au lieu d'employer quatre ressorts en C, avec des soupentes en cuir tendues par les crics, montage ordinaire des voiture à huit ressorts, il avait mis devant quatre ressorts droits, comme dans le montage de M. Binder, et derrière un ressort de travers, monté à télégraphe et se reliant à deux ressorts-moutonnets. MM. Million et Guiet, avaient déjà exposé un système analogue il y a quelques années.

M. Van Aken, avait exposé un landau, monté avec quatre ressorts à jambe de force, reliés par une flèche et surmontés devant et derrière de quatre ressorts en châssis, comme dans les systèmes précédents. Tous les ressorts étaient munis de bobines en caoutchouc, et des tampons ovoïdes, aussi en caouchouc, étaient interposés entre les deux systèmes de ressorts pour amortir les vibrations.

M. Letallc, avait exposé un dessin d'un système de suspension de la charge au-dessous du centre des roues, laissant la liberté d'oscillation sous l'effort de traction.

Je décrirai plus loin le séismographe dont j'indique l'emploi comme seul moyen pratique de comparer tous les systèmes de suspension, et de garder une trace indiscutable des résultats obtenus.

M. Gaudry désirerait avoir quelques renseignements sur la peinture des voitures, question qui intéresse vivement les chemins de fer. Il a entendu dire que certains carrossiers ont à cet égard une supériorité qui leur a constitué, même parmi leurs confrères, une spécialité. M. Anthoni pourrait-il nous dire si vraiment cette supériorité est réelle, particulièrement au point de vue de la durée et comment on y parvient si elle existe, soit par le choix des matières, soit par leur mise en œuvre.

M. Anthoni répond que pour avoir de bonnes peintures en carrosserie,

on applique un grand nombre de couches d'apprêt, de peinture et de vernis et qu'on emploie les meilleures qualités de matières; certains carrossiers préfèrent les vernis anglais et américains.

M. Gaudry est d'avis qu'en ce qui concerne du moins les voitures de chemins de fer, la supériorité des vernis anglais sur les vernis français de *bonne marque*, à *égalité de prix*, ne lui a paru nullement prouvée.

Des épreuves comparatives ont été faites sous ses yeux; plusieurs voitures de première et seconde classe ont eu leurs panneaux partiellement enduits de différents vernis, les uns français, les autres anglais, bien entendu à circonstances parfaitement égales. Au bout de vingt-sept mois de service courant les voitures ont été rentrées et examinées par une Commission. Les panneaux en vernis français de certaines maisons ont été reconnus à l'unanimité dans un état qui n'avait rien d'inférieur à ceux enduits aux vernis anglais (de marques réputées).

Il est donc porté à croire qu'aujourd'hui, du moins, notre industrie des vernis, comme beaucoup d'autres, est à la hauteur des concurrents étrangers, ce qui ne doit pas surprendre, car les recettes sont connues, les matières premières sont de même origine et partout on sait que le vernis comme le vin a besoin de vieillir pour avoir sa qualité.

M. Jeantaud appuie l'observation de M. Anthoni, le vernis joue un grand rôle dans la conservation de la peinture. Personnellement il n'emploie depuis longtemps que des vernis anglais qui sont incontestablement supérieurs aux vernis français, mais ils coûtent le double. Au chemin de fer de Lyon on a dû renoncer aux vernis français pour prendre des produits anglais; on commence dans la carrosserie à employer des vernis américains; il est d'ailleurs possible que la qualité des vernis soit moins nécessaire dans les chemins de fer que pour les voitures ordinaires à cause des lavages moins fréquents. La supériorité des vernis anglais tient au système et surtout à la durée de la fabrication; les grands fabricants anglais immobilisent des capitaux considérables dans cette fabrication, et il est certain qu'à prix de revient égal les fabricants français produiront des qualités semblables.

AVANT-TRAINS.

Il y a peu de modifications à signaler dans les avant-trains exposés; ceux des voitures de luxe sont en général composés d'une traverse en bois ferré, ou sellette, reposant sur les ressorts; des embrassures, fixées aux ressorts par des brides ou des boulons, maintiennent la sellette; les embrassures se terminent à l'arrière par des queues de tirant, venant se relier ensemble comme dans la fig. 30, ou aux fourchettes traversant la sellette comme dans la fig. 29; ou aux armons comme dans la fig. 31, ou sous le rond comme dans la fig. 32; ou sous le bout des têtars comme dans la fig. 33 représentant l'avant-train à têtar employé spécialement pour l'attelage à deux chevaux. A l'avant les embrassures se continuent de même et forment les tirants; la gueule-de-loup, qui maintient le brancard, est formée du côté

extérieur, par ce tirant, et du côté intérieur, soit par les bouts des armons fig. 31 ; soit par les extrémités de la ceinture comme dans les fig. 29, 30 et 32. Cette ceinture vient se fixer, soit au bout de fourchettes droites comme

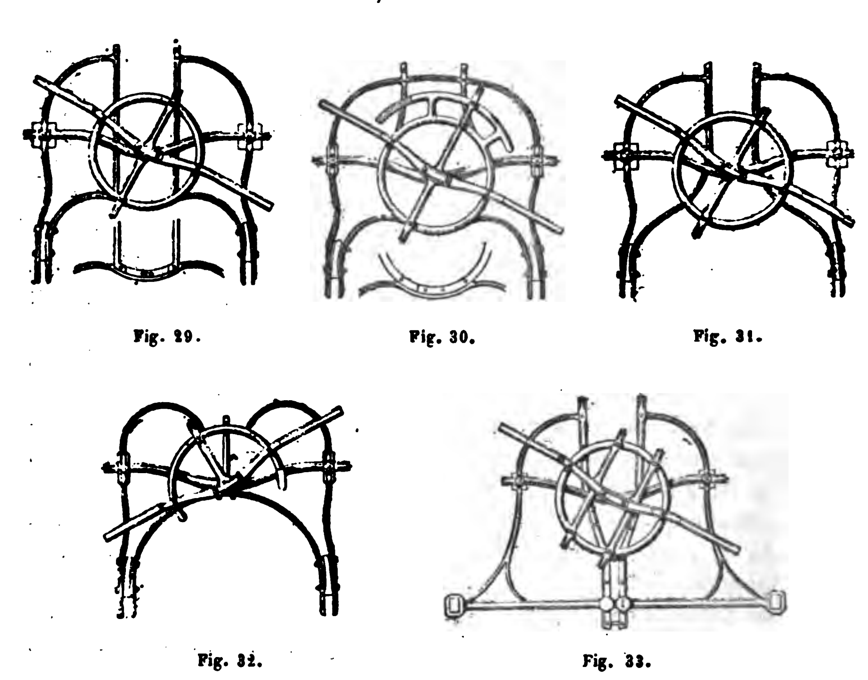


Fig. 29. Fig. 30. Fig. 31.

Fig. 32. Fig. 33.

dans la fig. 29 ; soit au bout de fourchettes en fer à cheval qui se cachent sous le rond comme dans la fig. 30, et rendent le nettoyage plus facile ; soit enfin au milieu de la sellette comme dans l'avant-train fig. 32 qui est à demi-rond.

Sur les fourchettes et la ceinture, sur les armons, ou sur les têtars se placent deux jantes de rond, qui complètent le dessous de l'avant-train. Les jantes sont destinées à recevoir et à laisser tourner librement le rond d'avant-train fixé à la voiture, soit directement, soit le plus souvent par l'intermédiaire de deux supports et d'un lisoir, en bois ferré, à bouts sculptés, ayant ordinairement le même cintre que la sellette ; le dessus d'avant-train ainsi formé est relié au dessous par une cheville ouvrière.

Le rond à double portée de l'avant-train fig. 30, est le plus employé pour les voitures de luxe, lorsque les bois sont cintrés.

Le demi-rond, de l'avant-train fig. 32, s'emploie quelquefois pour atteler un peu plus court ; ce rond est maintenu, sur un contre-rond, par un crochet fixé à l'intérieur et qui est indispensable pour maintenir le contact.

Les lisoirs cintrés, quand l'avant-train tourne à angle droit, portent les points d'appui des deux roues d'avant en dehors de l'axe longitudinal et cet effet se produit d'autant plus que les bois sont plus cintrés ; la

voiture penche alors du côté de cet axe, et il faut une grande solidité dans toutes les parties de l'avant-train pour maintenir l'équilibre dans cette position. Cette forme cintrée des bois, qui nécessite un excès de résistance de l'avant-train, est employée pour rapprocher les roues d'avant de celles d'arrière, c'est-à-dire pour raccourcir le train, ce qui, au point de vue du tirage, est loin d'être avantageux comme je l'ai déjà indiqué en traitant de la position des roues.

M. Binder aîné avait exposé un coupé avec un avant-train à lisoir droit et à rond ordinaire. Ce montage, en éloignant les petites roues du centre de gravité, reporte une partie de la charge sur les grandes roues de l'arrière-train; l'équilibre est bien maintenu : en effet, quand la voiture tourne, le milieu des deux points d'appui des roues de devant reste toujours dans l'axe; l'avant-train n'a plus besoin d'un excès de résistance, et la simplicité de sa forme permet un nettoyage facile.

Dans la plupart des voitures anglaises, et dans quelques voitures françaises, on a employé des avant-trains très légers dans lesquels l'acier remplace le fer.

Dans la cheville ouvrière, il y a en général, peu de surfaces en contact et le graissage s'y fait difficilement; quelques constructenrs emploient une cheville ressemblant à la fusée de l'essieu patent, présentant une grande surface de contact et se graissant à l'huile. Avec des bois cintrés, le coincement, que j'ai déjà indiqué pour les fusées d'essieu, se produit pour les chevilles patent et cause quelquefois l'enrayage; avec des bois droits, on évite cet inconvénient.

M. Belvallette emploie à ses voitures des avant-trains avec cheville patent; la sellette et le lisoir sont en fer. M. J. Urfer avait exposé un avant-train, avec cheville patent, entièrement en fer, très léger, et construit de manière à pouvoir se démonter facilement.

Quelques fabricants avaient exposé des avant-trains avec un double rond en fer, coulissant dans des rainures et remplaçant la cheville ouvrière ; en construisant ce système, on a surtout pour but d'éviter les accidents provenant de la rupture de la cheville ; mais le frottement est un peu plus considérable qu'avec la cheville ouvrière, à laquelle on peut toujours donner assez de force pour éviter tout accident.

Dans la section russe, les avant-trains des voitures dans lesquelles l'attelage se fait à l'essieu n'avaient pas de gueules-de-loup, et l'avant était formé de queues de tirant comme ceux de l'arrière de l'avant-train fig. 29.

Dans une voiture russe, dans une voiture autrichienne et dans les voitures genre américain fig. 52, 52 *bis* et 53, le rond d'avant-train est sur l'essieu qui est traversé par la cheville ouvrière; les ressorts sont fixés à la caisse et ne suivent pas le mouvement des roues.

Les avant-trains de camions étaient disposés pour un montage à trois ressorts et avaient en général des palonniers pour faciliter les mouvements d'épaule des chevaux.

Tous les avant-trains exposés, sans exception, font reposer la voiture sur

quatre points, formant un rectangle quand la voiture roule en ligne droite, et se réduisant à un triangle quand la voiture tourne; dans ce cas l'équilibre laisse à désirer, surtout avec les bois cintrés et il est toujours prudent de ralentir la marche en tournant court.

Je ne puis que signaler ici une disposition très ingénieuse et encore inédite, due à M. Dathis : la voiture en tournant court, conserve quatre points d'appui disposés en trapèze isocèle, la stabilité est ainsi excellente dans tous les cas, et la voiture ne peut verser ; les roues d'arrière ne peuvent guère accrocher, parce qu'elles sont obligées de suivre exactement le chemin que prennent les chevaux, dont les efforts sont de plus, bien mieux utilisés; la voiture ne peut pas fringaler, l'arrière-train tournant en sens inverse de l'avant-train et ces deux rotations étant commandées par le timon ou les brancards.

Presque tous les brancards étaient en bois cintré et ferré. Je dois signaler les brancards en fer creux de M. Urfer; ces brancards peuvent se fausser, mais sans blesser le cheval, comme le font quelquefois les éclats des brancards en bois.

M. Cleuet avait exposé un brancard inversable; quand le brancard est relevé autour du boulon qui le réunit à la gueule-de-loup, il descend un peu, grâce à une coulisse qui remplace le trou; pour le rabattre, il faut d'abord le soulever pour remettre le boulon au bas de la coulisse; ce brancard ne peut donc tomber accidentellement.

Dans le montage à trois ressorts, employé pour les omnibus de la Compagnie fig. 68 et pour les camions, l'attelage est rigide et se fait directement à l'essieu par l'intermédiaire des deux ressorts latéraux; il en est de même avec l'attelage à l'essieu des voitures russes et, de la voiture de chasse de M. Kolber.

Dans les voitures de luxe, l'attelage se transmet de l'avant-train à l'essieu, par l'intermédiaire des deux ressorts-pincettes, qui, fixés seulement en leurs milieux aux embrassures des avant-trains et aux patins des essieux, oscillent d'avant en arrière à chaque choc produit par les aspérités du sol et donnent une certaine élasticité dans le sens de la traction.

Dans les voitures à deux roues, il y avait quelques palonniers à ressorts donnant la même élasticité.

M. Desarran d'Allard avait exposé un petit modèle d'omnibus avec un attelage élastique et un frein qui se serrait de lui-même dans le mouvement de recul.

M. Felber avait à son coupé une volée à palonniers mobiles pour faciliter les mouvements d'épaule des chevaux.

M. E. J. Marey, professeur au collège de France, a étudié l'influence de l'élasticité dans la traction exercée sur des voitures, et il a constaté, dans les cas les plus favorables, une économie de travail de 26 pour 100 en

ıveur de la traction élastique. Ces expériences, dont les fig. 34 et 35 ıontrent les résultats, ont été faites au moyen du dynamographe; cet ıppareil (décrit page 555), ne subit sous les plus fortes tractions qu'un al-ongement insignifiant, mais qui, amplifié par un tambour à levier (décri-ıage 556), loin, suffit pour tracer la courbe. L'élasticité des dynamomètres ı lames aurait faussé les résultats de cette expérience.



Fig. 34. — Courbe du travail dépensé par la traction d'une voiture *sans* intermédiaire élastique.

M. Marey fait remarquer que : « Dans l'emploi des moteurs animés pour la traction des fardeaux, il faut poursuivre, partout où ils se produisent, les chocs et les vibrations de façon à les absorber dans des ressorts élastiques, qui rendent au travail utile une force qui ne servait qu'à détruire les voitures, à défoncer les chemins, à faire souffrir les animaux, » et, aussi à cahoter les voyageurs.



Fig. 35. — Courbe du travail dépensé par la traction d'une voiture *avec* intermédiaire élastique.

Les systèmes de triple suspension que j'ai indiqués, sont préférables aux intermédiaires élastiques, en ce sens que tout en diminuant le tirage et en ménageant les chevaux, ils rendent en même temps la voiture bien plus confortable. En donnant aux traits d'une voiture de l'élasticité par des ressorts à boudins ou tracteurs, on n'obtient que les deux premiers résultats, sans augmenter en rien la douceur de suspension.

Il n'y avait pas, à l'Exposition, de systèmes de *dételage*, le jury d'admission les ayant écartés; en dételant les chevaux emportés, ils peuvent causer des accidents nombreux et la voiture abandonnée à elle-même, lancée à

grande vitesse et sans direction sûre, peut, en tournant, venir se briser contre un obstacle. On a bien cherché à enrayer les roues et à empêcher l'avant-train de tourner, mais on arrive alors à des complications qui alourdissent la voiture et en augmentent beaucoup le prix.

On peut prévenir plus simplement les accidents causés par les chevaux emportés, en agissant directement sur eux par des mors de brides convenablement disposés; M. Babonneau en avait exposé un dans ces conditions. M. Glatard avait aussi exposé un système très commode pour dételer un cheval abattu, très rapidement, sans ancun danger et sans couper les harnais.

CAISSES.

Je ne décrirai que les ferrures et accessoires de caisses présentant des améliorations, laissant de côté les formes qui varient suivant la demande du client, dépendent du goût de chaque carrossier qui leur imprime un cachet particulier et changent suivant la mode; je dois, pour cette question de formes de caisses, renvoyer aux publications spéciales; une partie des dessins de voitures qui sont reproduits, Pl. 142, sont des réductions de ceux de M. Brice Thomas, qui avait exposé le Guide du carrossier, dont il est l'éditeur; il a contribué par cette publication, existant depuis vingt et un ans, aux progrès qui ont mis la carrosserie française au premier rang.

M. Dupont avait exposé des plans de voiture, grandeur d'exécution; il en expédie dans tous les pays et les carrossiers étrangers sont ainsi mis à même de suivre pas à pas tous nos progrès et toutes nos modes.

J'ajouterai qu'une Société d'instruction professionnelle et artistique de carrosserie, s'est formée sous le patronage de la Chambre syndicale, présidée par M. Ehrler; cette Société a organisé des cours qui ont été très suivis; elle est dirigée par un bureau composé de MM. Binder, Geibel, Jeantaud, Muhlbacher, Charcot, Clairet, Guiet, Poitrasson et Rebut.

Les voitures françaises étaient parfaitement construites, et la division du travail a permis à certains spécialistes de mettre à la portée des constructeurs des produits ne laissant absolument rien à désirer.

Les caisses se font en général avec un passage de roue, qui est très utile au point de vue du tirage, parce qu'il permet de donner plus de hauteur aux roues de devant, qui, dans nos voitures de luxe, sont souvent les plus chargées.

Pour tenir les assemblages des caisses, on emploie des *bandes*, qui sont ordinairement en fer; quelques constructeurs commencent à employer l'acier et réduisent ainsi le poids. MM Belvallette frères, exposaient un landau avec des bandes en acier, dans lequel l'entrée était facilitée; le plancher était relevé à fleur de l'ouverture de la porte, au-dessus des brancards, qu'il faut enjamber d'habitude, soit pour monter, soit pour descendre.

Comme ferrures, je dois citer, vu leur exécution hors ligne, les brides américaines de Seward and Son, de New-Haven; cette maison livre chaque année 200 000 douzaines de brides en fer et 175 000 douzaines d'articles divers de quincaillerie pour voitures. Je cite cet exemple, qui montre l'importance de la division du travail au double point de vue de la parfaite exécution provenant de l'emploi de moyens mécaniques convenables et du bas prix de revient qui en résulte.

M. Faurax avait exposé une calèche à huit ressorts dans laquelle la flèche, chef-d'œuvre d'exécution de forge, était faite d'une seule pièce avec les fourchettes et les empanons à bouts sculptés; le bois était complètement supprimé et la forme était simple et rationnelle.

Les mail-coach, fig. 66, présentaient de très beaux exemples d'application de mécanique d'enrayage. Pour permettre aux dames de monter sur ces voitures, on avait exposé plusieurs systèmes de marchepieds ou d'échelles; MM. Million et Guiet avaient employé une échelle à coulisse, se relevant horizontalement au moyen d'une charnière et rentrant en glissant dans le coffre où elle se trouvait entièrement dissimulée par un recouvrement mobile.

M. Binder aîné avait employé une échelle à charnière et il soutenait la partie brisée par un support, qui donnait une grande solidité à l'ensemble; le tout était dissimulé comme dans le cas précédent.

Les Américains avaient exposé plusieurs modèles de *marchepieds*, recouverts de caoutchouc strié, fig. 77, d'un beau noir mat, ayant l'avantage d'empêcher de glisser quand le marchepied est mouillé ou la voiture inclinée sur le bord d'un trottoir, et de donner ainsi une sécurité absolue. La palette du marchepied est en fonte malléable, fig. 78, et percée, tout autour, de trous fraisés; le caoutchouc comprimé directement sur la palette dans des moules spéciaux pendant la vulcanisation, rentre à force dans les trous de cette palette et s'unit à celui qui vient dépasser les bords; de cette façon la palette se trouve entièrement et solidement recouverte; le caoutchouc contient, dans son épaisseur, une doublure en canevas, qui s'étend par-dessus les bords de la palette et est percée pour laisser le caoutchouc passer à travers les trous fraisés; elle le renforce de telle sorte, qu'il lui est impossible de se casser ou de prendre du jeu. La tige entre à force dans la queue d'aronde fondue sous la palette et y est maintenue par une clavette dont on courbe l'extrémité pour en empêcher la sortie.

M. Henderson de Glascow avait à ses voitures les frettes de devant recouvertes de caoutchouc strié remplaçant les frettes quadrillées employées depuis longtemps; ce système empêche de même de glisser.

Les constructeurs anglais emploient encore à leurs voitures les *serrures* ne s'ouvrant que du dehors et sans ressort, que nous avons abandonnées pour les remplacer par des serrures à ressorts s'ouvrant du dedans comme du dehors. Pour supprimer la saillie intérieure produite par la bascule de

la serrure, on emploie depuis longtemps la serrure à levier fonctionnant dans l'épaisseur de la doublure de la porte. Cette serrure oblige de dégarnir quand on veut graisser ; j'avais exposé une serrure de ce genre, mais à levier mobile (fig. 36) qui évite cet inconvénient ; on retire le levier en poussant le pène, et on peut alors retirer la serrure de la porte sans toucher à la garniture.

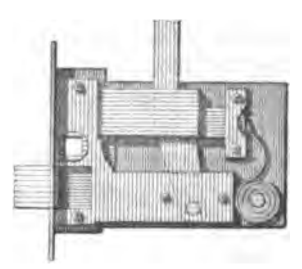


Fig. 36.

Les leviers nécessitent une fente dans la baguette en ébénisterie qui se trouve sur la doublure ; M. Lucas avait exposé une serrure à levier circulaire sortant par un trou pratiqué dans la baguette et évitant cette fente : cette serrure oblige de dégarnir quand on veut graisser.

Les portes des voitures de M. Kellner étaient fermées avec une serrure que l'on ouvrait, non pas en tournant, comme on le fait d'habitude, mais en appuyant ; cette serrure affaiblit un peu moins les montants de porte.

Les portes sont montées sur des charnières à pivot de façon à dégager complètement l'ouverture quand on ouvre ; quelques voitures étaient montées avec des charnières à pivot se décrochant à volonté, sans rien dévisser.

Les châssis de glace en fer de M. Chéry donnent plus de lumière à l'intérieur de la voiture ; M. Felber les avait appliqués à un coupé.

M. Bungens avait exposé des lanternes dont les glaces sont à plusieurs biseaux, son but est d'envoyer les reflets sous un plus grand angle et d'éviter la buée dans l'intérieur par les temps froids.

M. John Roberts avait exposé un coupé dont la lanterne avait une plaque mobile, permettant d'éclairer à volonté l'intérieur de la voiture.

M. Muhlbacher avait, dans un coupé, une lanterne d'intérieur permettant de lire très facilement.

Landaus. — La fermeture des anciens landaus était difficile ; il fallait tendre les compas à la fois des deux côtés pour ne pas les tordre ou les fausser.

On a évité cet inconvénient, en reliant par un arbre, dissimulé sous la garniture du dossier, les extrémités des deux compas. Pour faciliter la manœuvre, on a employé les *systèmes de relevage automatique des capotes*.

Le plus ancien de ces systèmes, celui de M. Rock, exposé par MM. Morel, Million et Guiet, etc., et en Angleterre par M. Harrison, est composé de

ressorts à lames ou à boudins, fig. 79, agissant sur le bas de la charnière des montants de porte.

Dans la voiture anglaise montée avec le système Rock, la glace est coupée, le panneau n'étant pas assez haut pour la recevoir; la partie qui se replie est en ébénisterie, le marchepied est mécanique et s'ouvre avec la porte.

M. Belvallette, ajoute à l'arbre, dont j'ai parlé, une bielle sur laquelle il fait agir des ressorts pour relever automatiquement les capotes. La fig. 80 représente le système de M. Belvalette, fonctionnant avec des ressorts à boudin.

Dans le système Mackenzie, un ressort à boudin agit sur le haut du montant de porte et fait fermer en même temps le pavillon. Ce système était appliqué au landau de M. Henderson et de quelques exposants anglais.

M. Devillard exposait un landau en blanc, à cinq glaces, dans lequel le relevage se fait au moyen d'un ressort formé d'une lame tordue en hélice, cachée dans un tube, et agissant derrière sur le bas des compas et devant sur la charnière du parallélogramme. MM. Poitrasson et Rebut avaient exposé des landaus en blanc fonctionnant très bien avec ce système.

MM. Guyot et Cie avaient exposé des landaus en blanc fonctionnant avec des ressorts torses, analogues au précédent mais formés de plusieurs lames réunies, et agissant dans les landaus, fig. 61, sur les extrémités inférieures des compas des capotes; et dans les cinq glaces à parallélogramme, fig. 64, sur les charnières du devant; les glaces de côté se replient autour de deux charnières verticales, sur la grande glace du devant, les montants qui encadraient ces deux glaces forment parallélogramme en se rabattant sous le siège, qui est monté sur des charnières en fer. Pour remplir le jour qui existe sous le siège quand le landau est fermé, MM. Guyot et Cie avaient exposé un autre landau avec un faux coffre mobile autour d'une charnière; dans ce landau, la glace du devant se loge dans un coulant ménagé dans la caisse, et les glaces de côté glissent jusqu'au-dessus des portes et descendent dans des coulants qui leur sont ménagés.

M. Aldebert avait supprimé les ressorts intérieurs pour le relevage et les avait mis extérieurement autour des goujons de caisse.

MM. Rock et Hawkins avaient fait des compas en acier formant ressort et servant au relevage automatique; ces compas sont fixés en haut aux goujons de capote; en relevant le pavillon, les compas à ressort s'ouvrent et ils se bandent quand on rabat, de façon qu'ils aident ensuite à relever.

M. Moyne s'était servi de ressorts à boudins fixés au-dessous de la charnière du montant de porte et agissant en haut de ce montant; il employait aussi un système avec deux ressorts à boudin placés horizontalement, tiran d'un côté sur le bas de la colonne et de l'autre sur deux leviers placés aux extrémités de l'arbre réunissant les compas.

Tous ces systèmes fonctionnent bien; ils étaient appliqués à beaucoup de landaus notamment à ceux de MM. Bail aîné, Belvallette, Binder aîné,

Charcot, Jeantaud, Million et Guiet, Morel, Muhlbacher, Poitrasson, Rebut, Rothschild, et de quelques autres constructeurs de la France et de l'étranger.

Ces mêmes systèmes étaient appliqués à trois mylords; dans celui de M. Poitrasson, les compas étaient intérieurs; dans celui de M. Jeantaud, ils étaient cachés dans la garniture, et la capote était tendue par un écrou nickelé qui la reliait au milieu de la galerie de siège; dans le mylord de M. Bail aîné, un levier placé sur le côté du siège agissait sur un arbre qui tendait ou détendait les deux compas intérieurs.

En découvrant les landaus par tous ces systèmes, les montants quittent la glace qui pourrait tomber si on oubliait de la descendre dans son logement; quand le landau est couvert, on ne peut non plus ouvrir la porte sans faire descendre la glace.

De nombreux systèmes ont été exposés pour remédier à ces inconvénients. Le plus simple est le chasse-glace; le mouvement de rotation que l'on imprime à la poignée en ouvrant la porte, soulève une partie du repos de glace, qui forme alors plan incliné; une pédale portant un arrêt ne laisse ouvrir la porte que lorsque la glace est tombée.

Dans un autre système, on maintient la glace par deux coulants; on n'a donc plus à s'en préoccuper, quand on ouvre la porte ou quand on rabat la capote.

Dans le landau de M. Riegel, il n'y a qu'un seul coulant d'un côté. On a employé aussi un cadre qui entoure la glace et descend avec elle dans la porte; quand la glace est levée, on la fait osciller autour de deux pivots placés au milieu, de chaque côté du cadre, et on la pose sur le repos de glace.

Un autre exposant avait employé deux montants mobiles réunis par une traverse supérieure et tenant à la porte par des tenons courbes; la porte peut ainsi s'ouvrir à volonté, les montants tiennent la glace. Quand on veut découvrir ou baisser la glace, on ôte le crochet supérieur, on fixe les deux montants aux colonnes par des serrures à crochet que l'on manœuvre de l'intérieur et les deux tenons courbes se dégagent naturellement pendant le rabattement.

Dans le landau de M. Rostaing, il y avait un seul montant fixé à la colonne par une sorte de charnière à pivot et à la porte par un tenon courbe; dans ce système, il n'y a plus aucune autre manœuvre à faire, que de baisser la glace comme il faut du reste le faire avec tous les autres systèmes, sauf le premier décrit.

Beaucoup de constructeurs préfèrent les systèmes dits à *porte entière :* la porte est coupée à fleur du bas de la glace et montée avec deux charnières de façon à pouvoir se rabattre dans l'intérieur et sur le bas de la porte, qu'il faut ouvrir pour faire cette opération. Ce cadre maintient parfaitement la glace et donne à la porte un aspect plus régulier que tous les systèmes précédents. Pour fixer le cadre de la glace sur la porte, M. Kellner emploie une serrure à ressort, M. Binder aîné un verrou latéral entaillé, M. Jean-

taud un verrou intérieur, M. Bouillon fixe de plus le haut du cadre par un pivot à ressort qui se décroche en ouvrant les capotes.

VOITURES.

Voitures à deux roues. — Au point de vue du tirage, ces voitures sont avantageuses parce qu'elles sont légères et que la charge repose entièrement sur deux grandes roues. Elles ont quelquefois l'inconvénient de vanner, c'est-à-dire de faire sentir le mouvement du cheval; le voyageur court le risque d'être jeté hors de la voiture, si le cheval s'abat; enfin, dans les pentes, la charge n'est plus équilibrée.

Dans les voitures exposées, on avait cherché à remédier à tous ces inconvénients. L'exposition anglaise présentait un grand nombre de voitures à deux roues. M. J. Bush avait exposé un dog-cart dans lequel le siège est suspendu de telle sorte qu'il reste horizontal, même quand le cheval s'abat; de plus, la voiture peut prendre, au moyen d'un levier, des inclinaisons telles que sur une pente on puisse ramener le centre de gravité près de l'essieu.

M. Rousseau avait exposé un dog-cart charrette, fig. 45 avec un régulateur pour équilibrer la charge et laisser ainsi la caisse horizontale en élevant ou en baissant, suivant les cas, l'extrémité des brancards; les voyageurs restent bien assis et le cheval n'est pas surchargé, même sur les côtes les plus rapides. Quand ces voitures ont deux sièges fixes, elles ne sont en équilibre que lorsque les deux sièges sont occupés et que les poids des voyageurs sont sensiblement égaux; M. Dousscrin avait exposé un dog-cart dans lequel, au moyen d'un levier, il déplace les deux sièges pour rétablir l'équilibre.

Dans le dog-cart exposé par M. Dosme-Chatain, en ouvrant la porte derrière, on obtient un second siège qui s'équilibre de lui-même; le siège de devant avance et la partie qui reçoit les pieds suit d'elle-même le mouvement du siège.

Pour supprimer le mouvement de vannage, on rend les brancards indépendants de la caisse; ces brancards sont en général en bois de lance et très élastiques; on les fixe à l'avant de la voiture par un boulon autour duquel ils peuvent osciller; on les amincit ensuite et on les relie à l'arrière de la caisse soit par un boulon que l'on peut monter plus ou moins haut suivant la taille du cheval, soit par un ressort terminant le brancard, soit par un ressort de travers fixé à la caisse en son milieu et recevant les deux extrémités des brancards comme dans la charrette exposée par M. Kolber, fig. 46 et 47; dans ce montage les brancards peuvent de même se fixer plus ou moins haut, l'attelage est rigide, il se fait à un palonnier relié à l'essieu par deux chaînes.

En laissant au brancard toute liberté d'oscillation, en ovalisant le trou dans lequel passe le boulon de l'extrémité, ou en employant autour des bou-

lons la bobine en caoutchouc, ou par les ressorts déjà indiqués, le mouvement du trot du cheval se communique peu à la caisse.

Beaucoup de ces voitures avaient un palonnier à ressort donnant l'attelage élastique; d'autres avaient au contraire l'attelage rigide.

Dans la carriole de Norwége, de MM. Sorenson et Klovstad, la caisse est avancée de façon à reporter la charge sur l'essieu, sur un sol horizontal.

Il y avait deux coupés à deux roues pouvant remplacer avantageusement le cab anglais, fig. 48, et dont la fermeture par un châssis ployant et par un tablier double à charnières est bien plus longue que celle d'une porte : le coupé est plus commode pour monter ou descendre rapidement. Les mêmes problèmes d'équilibre, de vannage, sont à résoudre pour ces voitures. Dans le coupé à deux roues de M. Obrenski, l'entrée de la voiture est facile.

Vélocipèdes. — M. Renard avait exposé un vélocipède à deux roues, fig. 75, dont la plus grande avait deux mètres de diamètre. En tournant la tringle du gouvernail, on fait descendre deux tiges, dont les extrémités coudées sont reportées en dehors par des guides en hélice, et donnent une stabilité suffisante pour qu'on puisse monter sur les marchepieds fixés le long du corps. Pour partir, on tourne vivement le gouvernail, les points d'appui se relèvent, et guidés par les hélices ils décrivent un arc de cercle qui les rapproche du plan de la roue de devant; on agit en même temps sur les pédales qui sont remontées à la hauteur du pied, au moyen d'un parallélogramme et le mouvement des jambes est exactement le même que dans le vélocipède ordinaire. Avec un modèle de $1^m,60$, plus petit que celui qui était exposé, on a pu aller à Rouen et en revenir en dix heures, ce qui correspond à une vitesse de sept lieues à l'heure; le modèle exposé construit en acier et en caoutchouc, pèse 25 kilos.

M. Meyer exposait plusieurs vélocipèdes très légers, munis des roues que j'ai décrites.

M. Surrey exposait des vélocipèdes très légers, à corps creux en acier; les jantes des roues en forme d'U, fig, 72, formées en gorge pour recevoir le caoutchouc, sont construites en fine tôle d'acier; leur résistance est telle que, sans le secours des rais tendus, elles supportent sans fléchir le poids de plusieurs hommes; les rayons sont ainsi préservés de toute secousse; ils sont en acier, très fins, et au nombre de 90 à 200, suivant le diamètre de la roue; cette quantité de rayons donne à l'ensemble une très grande rigidité.

Le vélocipède à vapeur de M. Perreaux, porte derrière la selle le générateur, le foyer et le moteur qui transmet le mouvement aux roues par des chaînes; le piston a 22 mil. de diamètre sur 80 de course et la machine produit 14 kilogrammètres; on chauffe à l'alcool, la vapeur est surchauffée dans des tubes enroulés en hélice autour de la chaudière. Ce même système était appliqué à un tricycle très maniable et très léger.

MM. Haynes et Jefferis exposaient un tricycle, fig. 76, ayant à gauche

une grande roue motrice et à droite deux roues directrices s'inclinant ensemble, mais en sens inverse, sous l'action du gouvernail, ce qui permet de tourner très facilement. Le mouvement est communiqué par deux pédales à un arbre à double coude. La stabilité est excellente ; le siège est suspendu; les ferrures sont remplacées par des tubes creux en acier, qui réunissent la légèreté et la solidité. Ce même tricycle peut se faire à deux places.

Comme voiture d'enfant, je dois signaler l'ingénieuse voiture automatique de M. Mégissier, dans laquelle les enfants peuvent s'asseoir, se lever, marcher dans la direction qui leur convient sans aucune surveillance, car si l'enfant se fatigue, en tombant il se trouve assis sur un petit siège qu'un mouvement, pourvu de ressorts, relève automatiquement quand l'enfant se redresse. Ce chariot se transforme facilement en petite voiture pour aller à la promenade.

Voitures à quatre roues. — Ces voitures se font sur un grand nombre de modèles ayant chacun leurs avantages particuliers; je ne signalerai comme précédemment, que les voitures présentant des dispositions nouvelles.

Phaétons, wagonnettes. — Dans les voitures dont les sièges se placent en travers, comme les phaétons, il faut monter entre les roues de côté, ou enjamber la roue de devant. Le buggy, fig. 52, exposé par M. Brewster, et construit très solidement quoique avec la plus grande légèreté, est dans ces conditions. On a cherché à rendre l'accès de ces voitures plus facile aux dames; on emploie depuis longtemps un marchepied à tiroir se logeant sous les pieds du cocher et pouvant se développer par-dessus la roue en offrant plusieurs marches; une dame monte ainsi sans difficulté sur le siège de devant. Pour faire arriver au second siège, il y a plusieurs moyens : M. Brewster avait exposé un phaéton dans lequel on braque l'avant-train pour permettre à une dame de monter devant, puis en faisant tourner en dehors la moitié du siège de devant on peut arriver à celui d'arrière; mais la lanterne suivait ce mouvement et se renversait; il avait évité cet inconvénient dans une autre voiture exposée. M. Lagogué relève le second siège sur le côté et on peut monter à l'arrière de la voiture, qui est munie d'un marchepied et d'une porte. Pour passer sur le devant, on peut appliquer le même système; pour aider à relever les sièges, il emploie un levier à ressort dans le genre du ferme-porte.

Le phaéton de M. Julian avait à l'arrière un siège qui pivotait comme celui de la fig. 54, et laissait alors libre l'ouverture de la porte, qui développait un marchepied garni de bandes en caoutchouc pour empêcher de glisser.

M. Thorn avait exposé un phaéton, fig. 54, ayant un accès très facile par la porte située à l'arrière, qui, en s'ouvrant, fait pivoter le siège et développe un marchepied mécanique. Pour passer devant, on lève la moitié du siège autour de deux ferrures formant chacune parallélo-

gramme, et il suffit d'enjamber le passage de roue pour être sur le premier siège.

En enlevant le siège de l'arrière et rapportant deux sièges de côté, on a la wagonnette que M. Thorn avait aussi exposée.

Avec ce système, on évite le marchepied à tiroir et l'on n'est plus obligé d'enjamber la roue de devant, ou de monter entre les roues de côté, comme dans la plupart des phaétons.

M. Jacobs, avait exposé un phaéton à portières, fig. 53, avec une capote recouvrant les deux sièges ; en transportant les deux supports antérieurs à côté des deux autres, on peut rabattre le tout comme une capote ordinaire.

MM. Peters et fils avaient exposé un spider, fig. 54, voiture un peu plus légère que le phaéton.

Ducs, mylords. — Dans ces voitures on demande souvent un siège mobile ou strapontin, pouvant s'enlever à volonté.

Le duc de M. Julian avait un petit strapontin dissimulé sur le garde-crotte ; on l'enlevait avec une poignée et on le mettait en place en le faisant pivoter autour de deux supports ayant comme longueur la moitié de la largeur du strapontin et fixés en haut à la caisse et en bas au milieu du strapontin.

M. Levacher avait exposé un duc, fig. 49, dans lequel le garde-crotte en se rabattant successivement autour de deux lignes de charnières, forme un siège, puis un dossier. Ce siège en se repliant se transforme de nouveau en garde-crotte.

M. Charcot avait exposé un mylord, fig. 57, avec son siège strapontin, qui transforme à volonté cette voiture en vis-à-vis ; les accotoirs de ce strapontin sont articulés à charnières à leurs deux extrémités, de façon qu'en faisant tourner le siège du cocher autour de deux charnières antérieures on peut replier le strapontin sous la botte du siège. Ce siège est assez large pour deux grandes personnes ; il reste toujours fixé à la voiture et un instant suffit pour le mettre en service ; il disparaît entièrement sous le siège du cocher et les supports servent de garde-fou.

M. O. de Ruytter avait exposé un duc, fig. 50, avec siège fixe devant ; l'aile d'avant va jusqu'au marchepied, disposition qui garantit efficacement de la boue le marchepied et l'aile d'arrière.

M. Merville avait exposé des parapluies pouvant couvrir les ducs et les vis-à-vis et les protéger du soleil et même de la pluie en ajoutant des rideaux.

M. Markoff avait exposé une victoria avec siège de domestique à l'arrière, fig. 55 ; en France, le siège en fer des victorias est presque abandonné pour le siège en bois des mylords ; au point de vue de la légèreté, cependant, la victoria exposée par M. Markoff, et celle exposée par MM. Nellis et Fresé, présentent des avantages sur les mylords.

Je rappelle les systèmes de relevage des capotes déjà décrits qui avaient été appliqués à trois mylords de la section française.

Coupés, cabs. — M. Constantin avait exposé un coupé dans lequel les portes sont ramenées contre la caisse par un ressort placé sous la banquette. Au lieu de manœuvrer la serrure par un levier, il emploie un ancien système : un chasse-pène, fixé au montant de porte et par conséquent indépendant de la serrure, repousse le pène au moyen d'un levier.

Dans les coupés, on met souvent une grande glace devant ; pour en faciliter la manœuvre, M. Pernin avait employé un système de contrepoids cachés sur les côtés des coulants de glace.

Dans le coupé de M. Poitrasson, les portes s'ouvrent du côté des roues d'avant, et on met un garde-crotte aux roues d'arrière.

Pour diminuer un peu le tirage, M. Audineau avait exposé un coupé dans lequel il rapproche les roues d'arrière du centre de gravité.

M. Binder aîné avait le seul coupé ayant un avant-train avec bois droits ; cette disposition qui éloigne les petites roues du centre de gravité, diminue le tirage.

Pour rapprocher des grandes roues le centre de gravité, M. Desouches avait coupé le bas des portes en arc de cercle, fig. 59, les charnières sont dans la partie droite ; la partie cintrée en s'ouvrant passe par-dessus la roue ; cette disposition permet d'élargir à volonté la partie supérieure de la porte. La glace ne peut descendre dans la porte ; elle se loge dans l'épaisseur du panneau de custode (de côté), une disposition de pédale à ressort empêche l'ouverture de la porte pendant que ce glissement s'opère.

Le cab anglais, fig. 48, exposé par M. Geibel, a deux grandes roues ; le cocher placé à l'arrière est très élevé et conduit facilement ; le voyageur peut ainsi voir devant lui sans obstacle ; la fermeture se fait dans le bas par deux demi-portes et en haut par un châssis vitré se ployant à charnières et venant se relever contre le pavillon.

Le cab français, fig. 58, créé par M. Kellner, se rapproche de l'omnibus au point de vue de la répartition de la charge, les voyageurs étant placés sensiblement au-dessus des grandes roues. Cette voiture, un peu plus légère que le coupé, peut se fermer complètement en baissant le tablier et en développant le châssis vitré ; l'accès en est très facile et elle est bien éclairée par deux glaces de côté que l'on peut ouvrir à volonté.

Landaus, landaulets. — J'ai déjà décrit les systèmes automatiques pour le relevage des capotes ou du devant des landaus cinq glaces, dits à parallélogramme, fig. 64, ainsi que les divers systèmes de portes entières.

Il me reste à décrire quelques dispositions spéciales pour rabattre l'avant de ces voitures ; la capote de l'arrière se rabattant toujours à peu près de même.

M. Riégel avait exposé un landau à deux capotes dans lequel il a cherché à réduire toutes les dimensions pour donner de la légèreté ; pour diminuer la longueur, il rabat la capote d'avant entre les deux supports en fer à charnière sur lesquels le siège du cocher est monté, et le coffre qui se réduit aux deux panneaux de côté, lesquels peuvent rentrer dans deux

fentes spéciales disposées dans la capote et munies de recouvrements en cuir pour éviter l'infiltration de la pluie quand la voiture est fermée. Pour laisser le passage libre, les lanternes sont fixées au siège et une disposition ingénieuse de leviers les maintient dans une position verticale quand on lève le siège pour rabattre la capote.

M. Belloni avait exposé un landaulet trois-quarts dont le devant, muni de cuirs, se rabattait comme celui de M. Riégel; la glace de devant est coupée en deux dans le sens horizontal, pour pouvoir se loger en prenant moins de hauteur; au lieu de relever le siège, on le fait glisser en arrière et la capote se rabat par-dessus le siège qui passe par l'ouverture laissée libre par la glace; puis on ramène le siège à sa place.

Dans les landaus à cinq glaces, on avait employé deux systèmes de rabattement : dans le plus ancien, fig. 63, on fait glisser les glaces de côté au-dessus des portes dans lesquelles on les fait ensuite descendre à côté des glaces de portes ; puis on rabat sur la glace de devant descendue dans son coulant les deux montants qui la maintenaient ; enfin, les montants de porte se rabattent en avant avec le pavillon qui se ploie en deux ou trois parties et vient se loger dans la gorge du coffre.

Dans le système de rabattement en parallélogramme, fig. 64, les glaces de côté se rabattent à charnière sur la glace du devant et le système des deux montants de porte et des deux montants de glaces, formant en dessus avec le pavillon, et en dessous avec la caisse, un ensemble de deux parallélogrammes parallèles, peut se rabattre sous le siège, qui, fixé à l'avant sur des charnières en fer, se relève pour cette opération ; avec ce système on emploie un relevage automatique.

On peut aussi, avec ce rabattement en parallélogramme, loger les glaces comme dans l'ancien système.

Dans le landaulet trois-quarts, exposé par M. Belvalette, la glace de devant descend dans un coulant; les deux glaces étroites de côté se logent sous le siège avec leurs deux montants et le pavillon se replie à charnière sur la capote d'arrière.

Enfin dans le landaulet trois-quarts de M. Bail aîné, les deux petites glaces de côté se replient à charnière sur un cadre spécial, pouvant descendre comme la glace de devant, mais dont il reste indépendant ; on peut donc à volonté ouvrir la glace de devant ou celles de côté. Les deux montants antérieurs se rabattent l'un à côté de l'autre sur le coulant de glace ; les deux montants de porte se rabattent en avant sur les tiges des porte-lanternes et le pavillon se rabat comme dans le cas précédent.

Quelquefois les glaces étroites de côté se logent dans les portes.

La fig. 62 représente nn landau à huit ressorts exposé par M. Binder aîné. Cette voiture est destinée à être conduite à la Daumont.

Les calèches sont plus légères que les landaus; elles étaient représentées par quelques voitures à huit ressorts; la fig. 60 représente une calèche à huit ressorts exposée par M. Binder.

MM. Muhlbacher et Dufour frères avaient exposé des vis-à-vis à deux

capotes, dans lesquels il n'y a pas de glaces de porte, mais qui protègent suffisamment contre la pluie.

Voitures à panneaux et à glaces mobiles, système brev. s. g. d. g. de G. Anthoni. — Les landaus et les landaulets sont certainement les voitures les plus commodes ; pouvant s'ouvrir et se fermer rapidement, au moyen des capotes et des compas, ils sont de toute saison et fort appréciés ; ils ont remplacé presque complètement les calèches que l'on ne peut couvrir aussi facilement. Ces voitures seraient encore plus employées si l'on pouvait supprimer les cuirs des capotes qui enlèvent beaucoup de jour, exigent l'emploi des compas, restent peu de temps en bon état et dont l'entretien est difficile et coûteux : les cuirs en effet se ternissent vite, ils forment des plis disgracieux, se durcissent au soleil, se cassent ; les capotes ne ferment plus bien et laissent alors infiltrer l'eau dans la voiture.

Les berlines et les coupés, qui ne peuvent s'ouvrir il est vrai, ont, avec leurs panneaux peints et vernis, et leurs glaces, un aspect bien plus riche et sont, par cette raison, préférés par beaucoup de clients.

M. Charcot avait exposé un coupé trois-quarts à panneaux et à glaces mobiles de mon système. Le siège du cocher, monté sur des charnières en fer, fig. 65, se relève pour permettre le rabattement en parallélogramme du devant, après avoir replié les petites glaces de côté sur la grande glace. L'arrière, formé d'un grand panneau, se rabat de même ; les panneaux de custode, qui peuvent à volonté se remplacer par des glaces, se replient sur le panneau d'arrière et le tout se rabat en parallélogramme. Le relevage se fait par un des systèmes automatiques que j'ai décrits et les panneaux ou les glaces maintiennent les montants.

Dans un landau du même système, j'ai logé les panneaux de custode dans les portes ; en leur donnant ainsi qu'aux glaces le cintre de la caisse, et par une disposition toute nouvelle d'accotoir à ressort, qui permet une fermeture hermétique, empêche l'air de pénétrer et cache la place qu'occupent les montants quand il se rabattent, j'ai pu donner à cette voiture l'aspect d'une berline, avec ses panneaux et ses glaces à fleur de la caisse.

Ce système s'applique de même aux coupés à deux places, aux coupés trois-quarts, permet de les ouvrir aussi facilement et aussi vite que les landaus, tout en remplaçant les cuirs par des glaces ou des panneaux qui offrent une surface toujours unie et brillante.

Voitures diverses. — M. Bollée avait exposé deux voitures à vapeur dans lesquelles l'avant-train est disposé de telle sorte que le conducteur peut ralentir ou accélérer la vitesse et diriger très facilement. (Voir la communication de M. Lecordier, page 485.)

Il y avait un assez grand nombre de mail-coach, d'omnibus, de braecks, de voitures de commerce et de transport dans la section française et dans la section anglaise.

Le mail-coach, fig. 66, voiture spécialement destinée aux courses et exclu-

sivement fabriquée en Angleterre pendant longtemps, se construit parfaitement en France et était exposée par un grand nombre de fabricants, par MM. Belvallette, Binder aîné, Desouches, Kellner, Labourdette, Million et Guiet, Morel, Rothschild de Paris, par MM. Peters, Laurie et Marner de Londres, par M. Brewster de New-York et par M. Kolber de Pesth. Plusieurs de ces voitures présentaient des marchepieds perfectionnés et des freins très bien étudiés.

Les omnibus sont avantageux sous le rapport du tirage, et très employés, depuis le petit omnibus à quatre places, jusqu'au nouveau modèle à 40 places de la Cie des omnibus, fig., 68. Cette voiture a 4 mètres de long sur $1^{m},90$ de large; la voie du milieu au milieu des cercles est de 2 mètres; l'assise par voyageur est de 0,485.

L'omnibus à huit places intérieures exposé par M. Charcot a un grand coffre pour recevoir les chiens, la mécanique d'enrayage est mise en mouvement par un volant; il y a quatre places sur l'impériale et une galerie pour les bagages.

Le grand braeck de chasse de M. Morel a de même un grand coffre : l'accès des places intérieures est très facile; le montage est à quatre ressorts pincettes; les mains sont retenues par des cuirs pour empêcher le recul des grandes roues sous l'action du frein.

Comme *voitures de transport*, il y en avait de toutes sortes depuis la brouette jusqu'aux gros chariots.

M. Hébert avait exposé une brouette bicycle : en levant les brancards, une roue articulée, placée entre les deux pieds de la brouette, prend d'elle-même sa position de travail et soulage les bras de l'homme qui n'a plus qu'à diriger.

M. Bernard avait exposé un tombereau automatique : la planche d'arrière fait bascule autour de deux charnières inférieures et s'accroche sous la voiture; la charge étant versée, on peut remettre la planche en place pendant la marche.

MM. Perousset et Samuel avaient exposé un chariot fourragère très léger, monté à deux pincettes devant, et à trois ressorts derrière; M. Roy avait une voiture du même genre, montée à six ressorts. MM. Chambart et Cuillier exposaient un très fort chariot; MM. Lemercier et Larochette avaient un très fort chariot destiné au transport des grains et dont tous les détails étaient parfaitement soignés. Dans la section anglaise on remarquait le gros chariot agricole envoyé d'Australie.

MM. Sabon et Renault avaient exposé une voiture de directeur de cirque, qui, avec ses peintures appropriées, et son mobilier intérieur complet, a été fort remarquée.

Ils avaient exposé aussi l'énorme chariot, fig. 69, dont j'ai déjà eu occasion de parler, spécialement destiné au transport du gros matériel de guerre : ce chariot peut être traîné soit par des chevaux, soit par une locomotive routière; un puissant frein à vis permet d'en modérer la marche sur les

plus fortes pentes. Le corps du chariot mesure $5^m,80$ de longueur sur $1^m,50$ de largeur et se compose d'un châssis dont les montants sont consolidés par une forte plate-bande en fer. Ces deux montants sont reliés entre eux par des barres et des boulons d'assemblage; leur écartement est maintenu par des entretoises creuses, à embases, qui enveloppent les boulons. Deux semelles relient toutes les barres entre elles et sont liées aux montants par des cornières en fer. Le dessus du tablier est consolidé par de grandes querres en fer qui rendent le corps du chariot indéformable. La cheville ouvrière, d'un poids de 60 kilogrammes, est garnie d'une poignée qui permet de l'enlever à volonté par une ouverture réservée dans le tablier du chariot. Trois crochets servent à tirer au besoin le chariot en arrière; ils peuvent être utilisés à la manœuvre, tous les trois ou isolément suivant les cas; celui du milieu est égal comme solidité aux deux crochets latéraux. Le chargement des objets à transporter peut s'opérer sur un plan incliné, fixé à l'arrière du chariot, à l'aide d'un treuil double, monté sur l'avant et qui peut être manœuvré des deux côtés du chariot; quatre hommes peuvent aisément, à l'aide de ce treuil et d'un wagonnet, tirer sur le plan incliné une charge de plus de quarante tonnes.

APPAREILS ENREGISTREURS.

L'odographe, le dynamomètre et le séismographe sont des appareils enregistreurs qui peuvent servir à comparer les voitures au point de vue de la vitesse, du tirage et de la douceur de suspension.

Odographe. — J'extrais de la conférence sur les moteurs animés, faite par M. E.-J. Marey, professeur au collège de France, la description suivante de son odographe.

« La vitesse d'une voiture est essentiellement variable; en mesurant l'espace parcouru et le temps employé, on n'a que la vitesse moyenne, résultant d'une série de vitesses variables, d'accélérations, de ralentissements et parfois de temps d'arrêt qui restent parfaitement inconnus.

Une mesure rigoureuse des vitesses suppose connu à chaque instant, le chemin parcouru par le véhicule, autrement dit la position qu'il occupe sur la route.

L'expression graphique de la vitesse réelle d'un véhicule suppose que la voiture trace d'elle-même la courbe des chemins parcourus en fonction du temps.

Au moyen de l'odographe, une voiture quelconque trace la courbe de son mouvement avec toutes ses variations.

Cet appareil, basé sur le même principe que la machine Poncelet et Morin, se compose d'un style traceur qui marche parallèlement à la génératrice d'un cylindre tournant couvert de papier. Le mouvement du style suit toutes les phases de celui de la voiture, mais à une échelle très réduite,

afin que le tracé d'un parcours de plusieurs myriamètres puisse tenir dans les dimensions d'une feuille de papier. Quant au mouvement du cylindre, il est uniforme et commandé par un rouage d'horlogerie placé à l'intérieur (Voir fig. 37).

Chaque tour de roue fait avancer le style de la même quantité; or, comme un tour de roue correspond toujours à un même chemin effectué, plus la voiture marchera vite, plus la roue aura fait de tours en un temps donné et plus le style aura subi de petits mouvements de progression. Cette solidarité entre les mouvements de la roue et ceux du style est obtenue au moyen d'un petit excentrique placé sur le moyeu. A chaque tour, il se produit, par une pression sur un tambour à levier (fig. 39), une soufflerie qui, par un tube de transmission, fait échapper une dent d'un rouage de l'appareil et progresser le style d'une petite quantité.

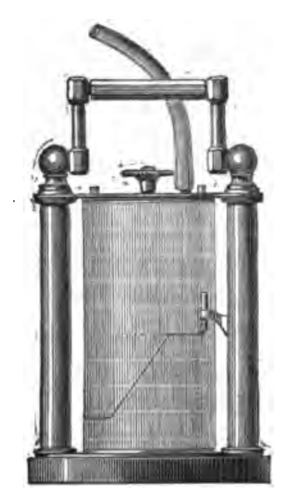


Fig. 37. — Odographe.

Ainsi, plus la voiture ira vite, plus la ligne tracée montera rapidement; la pente comparée de divers éléments du tracé exprimera les variations de vitesse.

Si l'on veut connaître la valeur absolue du temps et du chemin, il suffit de savoir que chaque minute correspond, par exemple, à 1 millimètre compté horizontalement sur le papier et que chaque kilomètre correspond à un certain nombre de millimètres parcourus par le style dans le sens vertical; on détermine par une expérience ce nombre de millimètres qui est invariable pour la même voiture.

L'odographe mesure donc aussi le chemin parcouru et dispense de se préoccuper de l'existence ou de l'absence de bornes kilométriques; il permet d'estimer la distance parcourue sur un chemin quelconque et de savoir quel est le chemin le plus court entre deux ou trois routes conduisant d'un point à un autre; actuellement, c'est à la montre que nous nous en rapportons, comme si la moindre durée d'un trajet correspondait toujours à la moindre distance.

Il permet aussi de comparer la vitesse des chevaux attelés : tel cheval marche-t-il mieux que tel autre? Celui-ci trotte-t-il mieux aujourd'hui qu'hier? En augmentant la ration d'avoine, accroîtra-t-on sa vitesse? En comparant la pente des courbes de vitesse obtenues avec l'odographe, on aura une réponse précise à toutes ces questions. »

Dynamomètre. — Le dynamomètre inscripteur de M. Morin, mesure la force exercée par l'attelage au moyen de deux ressorts qui s'écartent; ces ressorts portent des crayons dont les traces se confondent lorsque le dynamomètre est au repos; quand l'attelage se meut, l'un des crayons, attaché

à la lame fixe, trace une ligne droite, tandis que l'autre, attaché à la lame mobile, trace des sinuosités représentant l'intensité variable des efforts exercés. Cette courbe se trace sur une feuille de papier qui se déroule d'une manière uniforme.

Ce type était exposé par M. Clair qui l'a construit le premier et par plusieurs autres constructeurs.

Le papier enregistreur suffit dans la plupart des cas; cependant, pour des expériences de concours, on peut avoir besoin de plusieurs courbes, et M. J. A. Grandvoinnet, professeur de génie rural à l'École de Grignon, s'est préoccupé de remplacer le papier par des plaques métalliques polies et vernies, et le crayon par des pointes d'acier pouvant laisser leur trace dans ce vernis. En creusant avec un acide les traits faits par les pointes, on obtient une gravure en creux dont on peut tirer des exemplaires pour chacun des concurrents. Le calcul du tirage peut se faire contradictoirement par différentes personnes, soit en calculant l'aire de la courbe, soit avec le planimètre, soit en pesant comparativement les courbes obtenues, tirées sur du papier d'épaisseur uniforme et découpées avec soin.

M. Clair avait construit et exposé le dynamomètre ainsi modifié par M. Grandvoinnet.

Dynamographe. — Ainsi que je l'ai indiqué, page 539, M. Marey s'est servi de cet appareil pour montrer l'influence de la traction élastique; il a obtenu ainsi les courbes représentées fig. 34 et 35 et constatant une économie de travail qui s'est élevée jusqu'à 26 pour 100. Pour mesurer le tirage des voitures, on peut au lieu du dynamomètre se servir du dynamographe fig. 38, pour mesurer l'effort développé. J'emprunte à la Méthode graphique

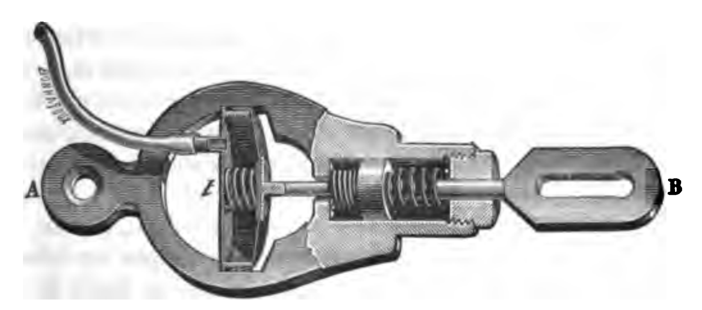


Fig. 38. — Dynamographe.

de M. E. J. Marey la description de cet appareil et du tambour à levier.

Le dynamographe, est un appareil dont les indications, transmises par un tube à air, s'inscrivent à distance, au moyen d'un tambour à levier, sur un cylindre tournant. L'appareil se compose d'une forte monture en fer munie de deux anneaux, dont l'un A s'applique à la force motrice et l'autre B à la résistance; ce dernier fait corps avec la tige d'un piston maintenu en équilibre entre deux ressorts à boudins, dont l'un, plus résistant, supporte

tout l'effort de traction. De l'autre côté du piston, la tige se continue jusqu'à une membrane de caoutchouc qui ferme une caisse métallique formant tambour.

Toute traction sur la tige du dynamographe attire la membrane élastique et raréfie l'air de la caisse. Des alternatives de raréfaction et de compression de l'air contenu dans cette caisse, se produisent suivant que la force de traction augmente ou diminue; cela donne naissance à une soufflerie qui se transmet à travers un tube de caoutchouc, jusqu'à un tambour à levier, appareil chargé d'inscrire sur un cylindre tournant les variations de l'effort.

Dans le tracé qu'on obtient ainsi, la courbe s'élève d'autant plus haut que l'effort de traction développé est plus énergique. On gradue l'instrument en le soumettant à des tractions connues et l'on construit l'échelle qui sert à en évaluer les indications.

Le tambour à levier fig. 39 ou appareil inscripteur se compose d'une



Fig. 39. — Tambour à levier.

capsule métallique munie d'un tube latéral et fermée par une membrane de caoutchouc mince et peu tendue. Sur cette membrane est collé un disque léger d'aluminium, du centre duquel s'élève une pièce à double articulation qui relie la membrane au levier inscripteur. La double articulation est nécessaire pour assurer la mobilité parfaite du levier; celui-ci, à l'une de ses extrémités, tourne librement autour d'un axe et présente une fente dans laquelle glisse l'axe supérieur de la bielle à double articulation qui le réunit à la membrane. Ce glissement a pour effet d'amplifier ou de diminuer l'étendue des oscilliations et de varier ainsi la sensibilité de cet appareil. L'extrémité du levier est munie d'une pointe. En reliant, par un tube de caoutchouc, le tube latéral du tambour du dynamographe au tube latéral du tambour à levier qui sert de récepteur, l'extrémité du levier du tambour reproduit toutes les oscillations du ressort du dynamographe, mais en les amplifiant, et trace sur un cylindre qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner très uniformément, une courbe représentant l'intensité des efforts.

Pour mesurer le chemin parcouru, on trace le nombre des tours de roue au moyen d'un tambour à levier actionné par une saillie du moyeu; un tube de caoutchouc transmet la soufflerie à un autre tambour à levier inscrivant sur le même cylindre. Les tours de roues permettent de calculer très exactement le chemin parcouru, en notant pour chaque expérience le diamètre de la roue qui actionne le tambour.

Les courbes sont obtenues sur du papier recouvert de noir de fumée, qui permet aux leviers terminés par des pointes très déliées de tracer les plus légères inflexions. On fixe ces courbes en passant le papier dans un vernis spécial et on peut ensuite en tirer des épreuves rigoureusement exactes par les procédés de la photographie.

Résultats d'expériences sur le tirage des voitures. — L'expression de l'effort que le moteur doit exercer dans le sens parallèle au plan du terrain, supposé horizontal, est donné par les formules suivantes du général Morin.

Pour une voiture à deux roues :

$$F = f\frac{P\rho}{r} + A\frac{P+p}{r}.$$

Pour une voiture à quatre roues :

$$F = f\left(\frac{P'\rho'}{r'} + \frac{P''\rho''}{r''}\right) + A\left(\frac{P'+p'}{r'} + \frac{P''+p''}{r''}\right).$$

F = tirage ou effort exercé par les chevaux dans le sens parallèle au terrain.

f = coefficient de résistance au glissement des boîtes sur leurs fusées.

A = coefficient de résistance au roulement des roues sur le sol ; ce coefficient est constant pour une même nature de terrain et une même largeur de bande ; l'augmentation de largeur de bande diminue le tirage sur les terrains compressibles et n'a pas d'influence sur les routes pavées.

(Voir les autres notations aux trois premières colonnes du tableau de la page suivante).

La résistance croît avec la vitesse sur le pavé ; l'augmentation est d'autant moindre que la voiture est moins rigide, mieux suspendue et la route plus unie.

M. Jeantaud m'a communiqué des résultats d'expériences dynamométriques relatifs à son omnibus et à trois autres voitures ; il a adopté les coefficients suivants qui font concorder ses expériences avec les formules :

f = 0,065 pour les boîtes d'essieu patent graissées à l'huile ;
A = 0,0095, pavés en grès secs ;
A = 0,0090, pavés en porphyre ;
A = 0,0060, macadam sec et en bon état ;
A = 0,0050, asphalte.

NOTATIONS. Voitures à deux roues.	Voitures à quatre roues. Devant.	Voitures à quatre roues. Derrière.	DÉSIGNATION.	OMNIBUS.			LANDAU.			COUPÉ.			MYLORD.		
			Poids à vide..............		634			675			500			420	
			Nombre de personnes et poids. devant..	2	140		1	70		1	70		1	70	
			Nombre de personnes et poids. derrière.	6	420		4	280		2	140		2	140	
			Poids total en charge.......	8	1194		5	1025		3	710		3	630	
				Devant.	Derrière.		Devant.	Derrière.		Devant.	Derrière.		Devant.	Derrière.	
			Répartition des charges totales.	372	822	1194	564	461	1025	315	395	710	288	342	630
p	p'	p''	Poids des roues............	68	90		60	70		50	69		50	64	
P	P'	P''	Poids de la voiture et de sa charge, non compris le poids des roues..............	304	732		504	391		265	326		238	278	
ρ	ρ'	ρ''	Rayons des fusées..........	0.021	0.021		0.019	0.019		0.017	0.017		0.016	0.016	
r	r'	r''	Rayons des roues..........	0.48	0.60		0.475	0.575		0.45	0.55		0.425	0.525	
$G = f\dfrac{P\rho}{r}$.			Résistance au glissement des fusées dans leurs boîtes....	0.864	1.665	2.529	1.310	0.840	2.150	0.650	0.654	1.304	0.580	0.550	1.130
$R = A\dfrac{P+p}{r}$.			Résistance au roulement des roues, sur un pavé en grès sec.	7.360	13.000	20.360	11.290	7.610	18.900	6.650	6.822	13.472	6.430	6.160	12.590
				8.224	14.665	22.889	12.600	8.450	21.050	7.300	7.476	14.776	7.010	6.710	13.720
Tirage $= G + R$.			Tirage........ kilog.	22.889			21.050			14.776			13.720		
Influence de la pente. $\pm (P + p' + p'')\dfrac{h}{l}$. h = pente totale sur la longueur l.			Effort de traction par 1000 kil.	19.17			20.54			20.81			21.78		
			Rapport de la traction au poids total..................	$\dfrac{1}{52.1}$			$\dfrac{1}{48.69}$			$\dfrac{1}{48}$			$\dfrac{1}{45.89}$		

J'ai inscrit dans ce tableau les résultats obtenus par M. Jeantaud; le tirage a été calculé avec les formules de M. Morin; les expériences ont été faites sur un pavé en grès sec, à une vitesse moyenne de 3^{m},30 par seconde et sur une route en palier.

Les résistances au glissement et au roulement ont été calculées séparément pour le train d'avant, puis pour celui d'arrière en se servant des formules inscrites dans le tableau.

Ce tableau fait clairement ressortir combien la disposition des roues sous la charge est importante; ainsi dans l'omnibus ou la roue du plus grand diamètre est appelée à supporter la plus grande partie de la charge, le rapport de la traction au poids total est de $\frac{1}{52,1}$, tandis que dans le mylord où les charges sont réparties presque également sur les roues d'avant et d'arrière, en tenant compte du petit diamètre de la roue d'avant, ce rapport est de $\frac{1}{46}$.

J'extrais quelques chiffres d'un rapport présenté à la Cie des Omnibus par M. Moreau-Chaslon. Des expériences ont été faites sur toutes les lignes de tramway et d'omnibus à 28 places avec le dynamomètre de MM. Morin et Poncelet construit par M. Clair.

La moyenne de l'effort de traction par 1000 kilog. est de 21 kilog. sur les omnibus et de 10 kilog. sur les tramways; cet effort varie pour les omnibus de 14 à 22 kilog. sur le pavé et de 21 à 33 kilog. sur le macadam. La traction sur le macadam est donc dans ces expériences, plus forte que celle sur le pavé, contrairement aux expériences précédentes; cette différence provient d'abord de ce que la valeur A = 0,006 se rapporte au macadam sec tandis que les expériences sur les omnibus ont été faites dans la mauvaise saison, sur du macadam détrempé pour lequel la valeur A est bien plus considérable; puis aussi de ce que le poids par centimètre de largeur de bande de roue est bien plus fort pour les omnibus que pour les voitures de carrosserie; le macadam sec forme pour ces voitures, relativement légères, un sol incompressible; il en est tout autrement pour l'omnibus et la largeur de bande a alors de l'influence.

Les valeurs de A, qui font concorder avec les formules les expériences ci-dessus faites sur les omnibus à 28 places, sont les suivantes :

Sur le pavé la valeur de A varie de 0,0045 à 0,0070.
Sur le macadam — — 0,0067 à 0,0106.

Le coefficient A = 0,005 relatif à l'asphalte donnerait pour l'omnibus à 6 places un effort de traction par 1000 kilog., peu supérieur à celui constaté pour les tramways; ces expériences sont donc concordantes.

Séismographe. — M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est, avait exposé, à côté de son wagon à expériences, le séismographe construit dans son laboratoire et destiné à

enregistrer les mouvements d'oscillation, sur les rails, des wagons en marche.

Grâce à l'obligeance de M. Regray, qui a bien voulu mettre cet appareil à ma disposition, j'ai pu faire des essais sur quelques voitures et obtenir des courbes dont j'ai représenté ci-dessous les principaux types.

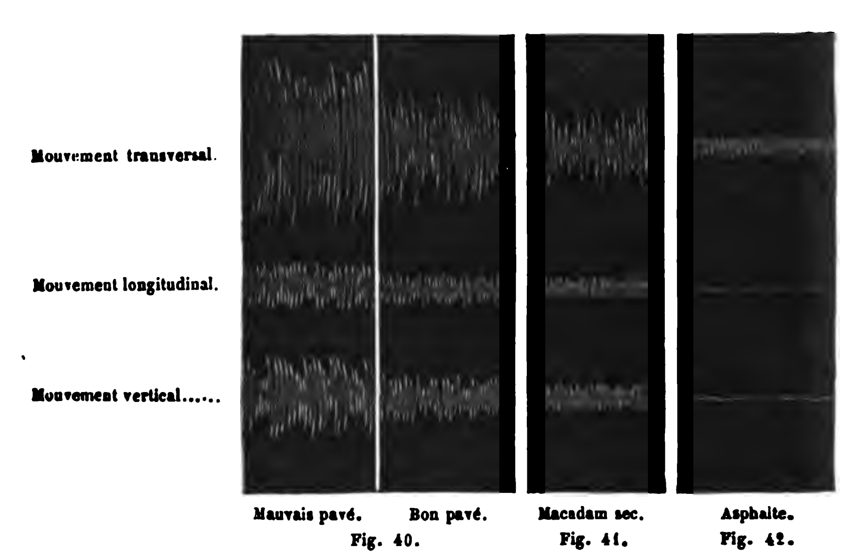


Fig. 40. Fig. 41. Fig. 42.

Les oscillations et les chocs sont inscrits suivant trois directions perpendiculaires; on enregistre ainsi le *mouvement vertical*, le *mouvement longitudinal* dans le sens du tirage du cheval et le *mouvement transversal* ou roulis.

La fig. 40 représente les oscillations obtenues ainsi sur deux genres de pavés différents; la fig. 41 les représente sur le macadam et la fig. 42 sur l'asphalte. Ces courbes ont été obtenues avec une voiture ayant la triple suspension par l'emploi des bobines carrées en caoutchouc et du double tasseau en caoutchouc, fig. 81.

On peut remarquer que, sur tous les terrains, les oscillations transversales sont plus fortes que les oscillations verticales, amorties par les ressorts et que les oscillations longitudinales dans le sens de la traction sont les plus faibles. Ces courbes démontrent l'utilité de la suspension en tous sens ou triple suspension; celles obtenues avec les voitures n'ayant que les ressorts généralement employés, ont des amplitudes plus considérables, indiquant que les voitures sont moins confortables.

Le séismographe, représenté en élévation fig. 43, et en plan fig. 44, se compose de trois pendules; l'un C, placé horizontalement, est maintenu en équilibre par un ressort et agit sous l'action des chocs verticaux : les deux autres sont placés dans deux plans verticaux perpendiculaires, l'un A est dans le sens de l'axe longitudinal de la voiture et l'autre B est dans le

sens transversal; ils agissent, l'un sous l'influence des chocs en avant dans le sens du tirage, et l'autre sous l'action des chocs transversaux.

Ces trois pendules oscillent sous l'action des chocs et vibrations que ressent la voiture en roulant sur le sol et leur mouvement est transmis par un système de leviers, à trois chariots très légers portant chacun un crayon et guidés sur des rails *r r'*; un papier qui se déroule uniformément en passant sur deux cylindres D D' actionnés par un mouvement d'horlogerie H,

Fig. 43. — Séismographe (élévation).

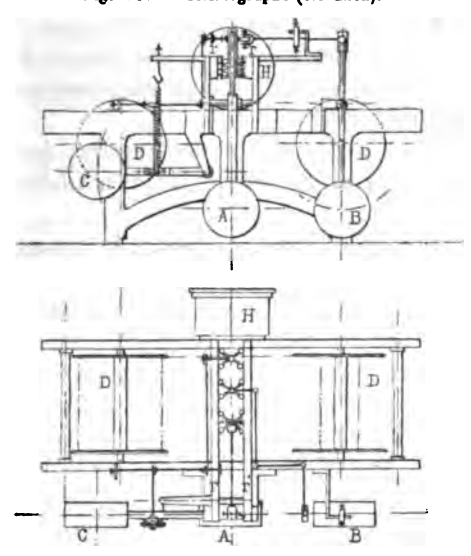


Fig. 44. — Séismographe (plan).

reçoit la trace de ces trois crayons qui inscrivent des courbes indiquant l'amplitude des oscillations.

On peut avec une même voiture, comparer les diverses parties d'une route, ou avec la même portion de route, comparer la douceur de voitures différentes; pour cela il faut faire rouler par les mêmes chemins et sur une étendue assez grande pour que les différences, provenant des obstacles rencontrés dans les divers sillons suivis par chaque voiture, deviennent inappréciables.

On peut donc, avec le séismographe, comparer les divers systèmes de suspension des voitures et garder avec les courbes enregistrées une trace écrite des résultats obtenus.

Des expériences simultanées faites avec ces trois appareils enregistreurs auraient un grand intérêt; elles fixeraient les constructeurs d'une manière indiscutable sur la valeur relative des différents modèles et de toutes les améliorations proposées et elles amèneraient certainement dans la construction

des voitures des progrès analogues à ceux que le dynamomètre et l'indicateur de Watt ont amenés dans la construction des machines à vapeur.

CONCLUSION.

La carrosserie française, magnifiquement représentée à l'Exposition universelle de 1878, tient de l'aveu de tous les constructeurs la tête de cette industrie; dans toutes les spécialités, elle compte des artistes habiles et la France fournit en abondance les matières premières nécessaires à la fabrication des voitures.

Comme bon goût, élégance et fini, les voitures françaises sont sans rivales, et servent aujourd'hui de modèle, jusqu'en Amérique, de préférence au genre anglais.

D'après les journaux américains, « le style du travail français est hors ligne; » ils reconnaissent aux Anglais une grande recherche du confort et de la solidité et s'attribuent, avec raison pour leur genre spécial, la première place sous le point de vue de la légèreté unie à la solidité. Mais dans le genre européen, ils n'en sont encore qu'à la copie, et n'ont rien créé qui ait fait école.

Nous avons des progrès à faire sous le rapport de la légèreté et je signale dans ce sens l'emploi raisonné de l'acier, combiné avec celui du caoutchouc : l'acier pour diminuer le poids tout en conservant la même résistance; le caoutchouc pour amortir les chocs et permettre ainsi l'emploi, sans danger, de pièces très réduites, augmenter la souplesse et la durée des voitures et diminuer le tirage. Il y a beaucoup à faire dans cette voie dans laquelle j'ai signalé : les avant-trains en acier; la voiture de M. Urfer; les dessins de voitures en acier de M. Jeantaud; certains vélocipèdes et les systèmes de triple suspension que j'avais exposés.

Contrairement à ce qui s'est passé trop longtemps chez nous, les constructeurs américains ont compris que pour produire beaucoup, bien et à bon marché, il fallait spécialiser autant que possible les différentes parties de la voiture et ils se sont adressés aux fabricants de caisses, roues, ressorts, essieux, brides, etc., aussitôt que ces articles ont été bien construits. Il en est résulté un développement considérable de ces fabriques spéciales, l'emploi de machines perfectionnées qui auraient été trop coûteuses pour une faible production, et en même temps un abaissement du prix de revient et une grande perfection dans le travail. Il est, en effet, hors de doute que le travail mécanique est infiniment plus précis que le travail à la main et qu'avec des ouvriers également habiles, des matières premières aussi bien choisies, on doit obtenir de meilleurs résultats.

En résumé, la carrosserie française tient le premier rang, suivie par les constructeurs américains et anglais; c'est en continuant à spécialiser, en restant au courant de tous les progrès et en répandant à profusion parmi nos ouvriers l'instruction technique, que les autres nations, à notre exemple, organisent chez elles, que la carrosserie française gardera cette place d'honneur[1].

M. le Président remercie M. G. Anthoni de son intéressante communication.

M. Pihet donne lecture de la suite de sa communication sur les machines-outils à l'Exposition universelle. Il rappelle que, dans la séance du 9 mai, l'énoncé des machines-outils s'arrêtait à l'Exposition des États-Unis et de l'Angleterre.

Aujourd'hui il se propose de traiter, toujours sommairement, celles des autres nations.

La Belgique était bien représentée par cinq exposants.

MM. Fetu et Deliége, au milieu d'un groupe important de machines diverses, nous montraient une machine à tailler les dents des roues d'engrenage conique fort ingénieuse.

Déjà, nous avions vu à diverses époques des tentatives faites dans le même sens; c'est une solution de plus à ajouter à celles qui visent cet intéressant problème.

On remarquait encore chez ces mêmes constructeurs un tour disposé pour tourner à la fois les deux fusées coniques des essieux de voitures.

MM. J. Deneffe et Cie, de Liége.

Un petit tour à outils multiples, des raboteuses à vis, un banc de scie circulaire pour couper les métaux à froid et une série courante de tours, raboteuses, mortaises et étaux limeurs.

MM. Cail, Halot et Cie, de Bruxelles.

Machines robustes, entre autres une raboteuse pour chanfreiner les tôles.

La petite fabrication était représentée par M. Jaspar, de Liége, avec un tour double pour forer les canons de fusil, et une petite fraiseuse à l'usage des fabricants d'armes. Puis par M. Robert, de Liége, avec quelques alésoirs à main.

La Suède n'avait qu'un exposant, M. Hedlund. Un petit tour à fileter.

La Russie était représentée par l'Institut technique de Moscou.

Ses modèles d'éléments de construction, ses figures agrandies de tous les taillants d'outils à façonner le bois et les métaux, tels que dents de scies, de limes, tarauds, burins, etc., ses marbres et trusquins de traçage et la reproduction des types les plus répandus des machines-outils nous ont laissé une haute idée de l'excellente direction de cette institution.

1. Voir le détail des figures à la fin de ce bulletin, page 660 et planche 142.

Un petit tour d'amateur au nom de la comtesse Stenbock Fermor complétait le lot de la Russie.

L'École des Arts et Métiers d'Athènes exposait la copie de la machine à tailler les fraises de M. Frey.

Quatre exposants pour la Suisse, mais sans rien pouvoir citer qui fût en rapport avec la perfection et le soin que nous avons remarqué dans la construction des belles machines de ce pays.

En France, malgré l'absence de quelques maisons importantes, nous avons constaté un développement aussi considérable dans la production des machines à travailler les métaux que celle que nous vous signalions pour les machines à travailler le bois.

Deux caractères bien distincts sont à remarquer.

Pour les machines à grands efforts, une résistance portée à la limite du possible; de façon à obtenir le maximum de travail.

Pour les machines de précision, des combinaisons, des ajustements délicats, des modes de réglage qui permettent des appréciations d'un centième de millimètre.

Les grandes machines, comme les plus petites, se font remarquer par une perfection d'étude et un soin de construction qui, sous ce rapport, ne nous laissent inférieurs à aucun concurrent étranger.

A côté des constructeurs qui ont pour spécialité de faire très bien, mais à des prix en rapport avec le soin et les exigences de ce genre de construction, nous rencontrons des maisons importantes qui, dans divers départements, ont créé la fabrication économique de ces machines à la faveur du bon marché, les ont répandues abondamment dans nos ateliers, au grand avantage de l'industrie.

Nous rencontrons aussi dans la section française de nombreuses innovations dans ces sortes de machines.

En première ligne, dans la voie de la nouveauté, je citerai les machines improprement dites à fraiser, parce qu'elles rappellent les dispositions générales de ces machines, mais qui, au lieu de fraises, emploient des burins tournants. Ces machines, dues à M. Frey, et auxquelles M. Donnay, son successeur, a donné de grandes dimensions, sont destinées à prendre une place importante dans nos ateliers.

Ce sont des machines à actions multiples qui, avec un maximum d'effort dressent des surfaces planes, contournent, pénètrent dans les profondeurs inaccessibles aux autres machines, alèsent et percent sans démonter la pièce soumise à leur action.

Les plus grandes machines-outils nous ont été présentées par MM. Varrall, Elwell et Midleton, de Paris. C'était d'abord une raboteuse à table mobile du poids de 60 tonnes. Un tour à fileter de 47 tonnes.

Dans le même esprit, M. Bouhey nons montrait un tour double pour roues de locomotives du poids de 60 tonnes.

Ces deux maisons, à elles seules, présentaient un lot de machines variées d'environ 300 tonnes. Ce chiffre vous donne l'importance de leur exposition.

Comme contraste, je suis amené à mentionner les petites machines de MM. Bariquand et fils; c'étaient des fraiseuses, des perceuses, des tours à outils multiples, des mortaiseuses d'une délicatesse et d'un fini remarquables, appropriées spécialement à la fabrication des armes portatives.

Une série de pièces d'armes faites sur ces machines, un assortiment de fraises d'une très grande valeur faisaient de cette exposition, une des plus remarquables de la classe 55 de la section française.

MM. Hurtu et Hautin, avec moins de variété, mais avec une perfection non moins grande, montraient deux tours et trois fraiseuses, dont l'une était disposée pour obtenir des forets héliçoïdaux d'un demi-millimètre de diamètre.

Une très belle série de ces forets, et un assortiment de fraises de 2 à 350 mètres de diamètre complétaient cette exposition.

M. Kreutz-Berger, l'éminent ingénieur des manufactures d'armes de l'État, nous montrait une petite machine à affûter les fraises sans les détremper.

Cet outil d'une délicatesse extrême, véritable main mécanique, est appelé à rendre de grands services.

Comme machines de précision encore remarquables, il faut citer les tours universels et les fraiseuses de M. Launoy, à Paris, successeur de Colmant, et ceux de M. Guyennot, qui exposait en outre une machine à diviser, à action très rapide, pour les mesures linéaires.

Dans cette machine, la vis est remplacée par un ressort s'enroulant sur un tambour, et les diverses divisions s'obtiennent au moyen d'une série de roues d'engrenage, agissant sur ce tambour comme les roues d'un tour à fileter sur la vis de ce tour.

MM. Ravasse et Genissieu, de Paris, présentaient un étau limeur à très grande course, offrant sous un faible poids une solidité rare, le porte-outil étant guidé et maintenu sans isolement dans tout son parcours. Cette machine d'une disposition nouvelle était disposée pour faire rapidement et très bien des moulures sur du fer.

MM. Chaligny et Guyot Sionnets, à l'appui de la bonne réputation de l'ancienne maison Calla qu'ils exploitent, nous montraient entre autres un étau limeur très puissant, un tour à fileter, dont les pointes reportées hors de l'axe du banc permettent de donner au support à chariot l'assiette nécessaire et une petite perceuse verticale, à deux tables.

Les grands établissements de Fives-Lille, qui depuis un certain temps se sont adonnés à ce genre de construction, exposaient à côté d'une mortaiseuse, deux raboteuses à table mobile, mues par une vis, conservant ainsi le système mis en usage par Whitworth, en 1840, mais qui malgré ses qualités n'a eu que très peu d'imitateurs, puis une série de dessins de leurs différents types.

Les machines de MM. Lozai, de Rouen, soutenaient bien la comparaison avec ses concurrents, quelques particularités dans les détails et de bonnes dispositions indiquaient une grande expérience.

MM. Challiot et Gratiot, de Paris, présentaient un assortiment très varié

de cisailles, poinçonneuses, perceuses, tours et machines diverses, entre autres une bonne fraiseuse horizontale.

M. Piat exposait une grande machine à tailler les roues héliçoïdales et un tour disposé pour tourner six arbres à la fois, par l'action combinée d'outils fixes dégrossisseurs et de lunettes-calibres, taillées en dents de fraise, pour achever l'opération.

L'expérience n'a pas encore démontré la valeur de cette innovation.

J'avais pour mon compte exposé deux machines nouvelles, une mortaiseuse à colonne, avec ascension de l'outil, au-dessus de la table, jusqu'à 1m500 de hauteur, de telle sorte que l'on pouvait y travailler des pièces environ quatre fois plus hautes que celles que l'on travaille sur des machines de même course.

Une autre mortaiseuse plus petite, avec inclinaison de l'outil, afin d'engendrer des plans obliques par rapport à la table et des troncs de cône.

M. Jamelin, à Paris, un support à chariot permettant d'employer un tour comme machine à fraiser.

Les machines à fileter, à tarauder, de M. Baville, ses filières et ses tarauds avaient encore le mérite de la nouveauté et de l'originalité.

La série des divers outils de tour, de mortaisage et de rabotage de cet inventeur figurait sous le nom de ses concessionnaires, tant en France qu'à l'étranger, montrant ainsi l'intérêt qui s'y attache.

La fabrication des outils à bon marché construits dans les départements du Nord et de la Somme donnait bien l'idée de son abondance et de sa variété ; Maubeuge comptait deux exposants :

1° MM. Daudoy-Maillard, Lucq et Cie ; 2° Sculford, Maillard et Meurice, un à Pont-sur-Sambre, M. Lucq.

Trois dans la Somme :

MM. Lebrun et Derly, Lomont, puis Lefèvre. Les machines de MM. Lebrun et Derly avaient un caractère de bonne étude et d'innovation très remarqué.

La Compagnie du chemin de fer de l'Ouest présentait un tour à roues qui, malgré un long service, était dans un état de conservation parfait, démontrant l'excellence de sa construction et de ses dispositions.

Puis encore quelques outils spéciaux de moindre importance.

A côté des machines, je ne crois pas devoir oublier les plans.

L'album de M. Claparède, à Saint-Denis, renfermait les dessins des divers outils très puissants qu'il a construits pour les chantiers de la marine.

Des plans lavés nous montraient une raboteuse pour plaques de blindages, une machine à cintrer les tôles de chaudières, une machine poinçonneuse, toutes trois avec un moteur adhérent.

La Compagnie dentelière exposait le plan de la perceuse à nombreux outils, et toute spéciale, qu'elle emploie pour perforer les milliers de trous de l'organe principal de sa machine à faire la dentelle.

Nous rentrerons maintenant dans l'examen d'une autre série de machines-

outils, s'appliquant plus généralement à des fabrications spéciales, et qui faisaient partie des classes 55 et 61.

Aux États-Unis, MM. Bliss et Williams, de Brooklyn, avaient une fort belle exposition en fonction, renfermant des machines à emboutir les boîtes métalliques en fer-blanc, les casseroles et quelques machines complémentaires de cette fabrication.

MM. Devens, de Brattleboro, une machine automatique pour faire les vis cylindriques.

M. Sloan, de Newport, ses machines automatiques pour faire les vis à bois. L'exploitation des brevets Sloan a donné naissance en Europe et en Amérique à des usines d'une importance hors ligne.

La machine à faire les tire-bouchons, de MM. Clough et Williamson.

M. Packer, de Philadelphie, exposait des petites cisailles circulaires à l'usage des fabricants de cartonnage et produisant des ronds et des ovales.

En Angleterre, MM. Jackson et Brother nous montrent une machine fort bien faite, à l'usage des fondeurs, pour opérer avec précision le moulage des dents d'engrenage.

MM. Greenwood et Batley, de Leeds, exposaient une très curieuse machine à forger les écrous sans aucun déchet. Dans cette machine, l'écrou est obtenu par le refoulement d'une tige cylindrique, et le poinçonnage qui fait le trou de l'écrou laisse sa débouchure adhérente à la tige sur laquelle l'écrou a été enlevé, de sorte qu'à l'opération suivante ce débouchage se trouve compris dans le refoulement qui forme un nouvel écrou.

En Suède, nous trouvons une petite machine analogue, mais sur un autre principe, exposée par M. Gustaffson, à Jonkoping. L'écrou est découpé puis maintenu dans la matrice qui lui donnera sa forme extérieure, et deux poinçons marchant l'un contre l'autre refoulant le fer au centre forment le trou, repoussant dans la masse de l'écrou le fer déplacé.

En France nous retrouvons les machines destinées à la fabrication des écrous et des boulons.

M. Leblanc de Paris, exposait deux presses à vis et volant (système Vincent), disposées non seulement pour faire des boulons, des écrous et des rivets, mais pour estamper encore diverses pièces de forge. Construction très étudiée et très robuste.

M. Sayn, nous montrait une série de machines analogues, mais de son système, et une puissante machine à forger les écrous sans déchet, comme celle que nous avons déjà citée en Suède.

M. Bouchacourt exposait une forgeuse pour obtenir à chaud les filets des vis à bois.

Des balanciers à vis et à friction, figuraient sous le nom des constructeurs spéciaux, tels que M. Deny, M. Clément, M. Guinier et M. Cheret; à cette occasion il est juste de rappeler que c'est à M. Cheret que l'on doit la vulgarisation de ces outils, qui depuis environ quinze ans ont pris un tel développement et des applications si diverses.

M. Sibillat exposait des cisailles d'un usage courant, et surtout des lames

de cisaille d'une grandeur exceptionnelle, $2^{m},50$. Ces lames sont formées d'une mise d'acier soudée sur du fer. Les spécialistes savent tout le mérite de ce travail, que l'on n'aborde qu'à la faveur d'une longue expérience.

L'Industrie de la Tôlerie, de la Ferblanterie, du Zinc en feuilles, qui a une si grande importance, mais qui n'emploie pas les mêmes procédés que ceux que je vous signalais dans la section Américaine, trouvait un assortiment varié de ses diverses machines.

D'abord, dans l'exposition de M. Sage de Lyon, qui nous montrait une bonne machine à plier le zinc, dont la pression a lieu dans la partie inférieure, de façon à débarrasser le dessus de toute entrave, puis toute la série des machines à border, à faire les pinces, etc.

M. Lecacheux, M. Soyer, M. Gros, à Paris, exposaient aussi des machines à plier, et à rouler des tôles, de types courants, et bien appropriés à leur emploi, mais sans innovation importante.

Il me resterait encore à vous exposer la nomenclature des machines fort intéressantes, très délicates pour la plupart, généralement très ingénieuses employées par la bijouterie, l'horlogerie, la fabrication des sacs en papier, des enveloppes, la fabrication des cartouches.

Les types les plus caractérisés de ces machines, sont la machine automatique à faire la chaîne de bijoutier dite chaîne-serpent de M. Prat, et les machines à enrober ou garnir de papier les balles des cartouches de l'armée, de M. Gauchot; puis celles des machines si diverses concernant le traitement des matières textiles, les machines à essayer les métaux, à élever les fardeaux. Celles employées dans la carrosserie, ces machines étant plus spécialement du domaine des Membres de la section, M. Pihet croit devoir laisser à ces Messieurs tout le mérite de leur examen.

M. Richard désire rappeler à la Société qu'il vient de se passer un fait des plus importants, le Congrès du Canal interocéanique où nos délégués ont assisté et pris la parole. Il pense que la Société ne peut se désintéresser de cette grande question et que ceux de ses Membres qui ont assisté au Congrès et y ont joué un rôle considérable, viendront nous rendre compte de ce qui s'y est passé. Il demande donc que son observation soit mentionnée au procès-verbal de la séance, comme appel à la bonne volonté de nos délégués.

M. Eiffel dit que M. Cotard qui a été rapporteur de la Sous-Commission technique était venu à la séance avec l'intention d'y dire quelques mots de cette question, et que la séance paraissant suffisamment occupée il s'est retiré; M. Cotard se tiendra d'ailleurs à la disposition de la Société pour une des prochaines séances.

M. le Président prend acte des bonnes dispositions de M. Cotard, il lui demandera de vouloir bien préparer un rapport sur la question, qui sera mise à l'ordre du jour de la prochaine séance.

MM. Avril, Basiliadès, Berthon, Blanchet, Cahen-Strauss, Cahen, Guigon, Normand et Sautereau ont été admis comme membres sociétaires, et M. Franck comme membre associé.

Séance du 20 Juin 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 juin est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Chaper et Deroide.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. LOUSTAU, trésorier, donne communication de l'Exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre de Sociétaires, qui était, au 20 décembre 1878, de.	1526
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de.	59
	1585
A déduire, par suite de décès, pendant ce semestre. . .	6
Nombre total des Sociétaires au 20 juin 1879.	1579

Les recettes effectuées pendant le 1er semestre 1879 se sont élevées à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, etc.)	31,069 87	34,069 87
2° Pour le fonds social inaliénable (5 exonérations).	3,000 00	
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations. . .		36,701 00
Total de ce qui était dû à la Société.		70,770 87
Au 20 décembre 1878, *le solde en caisse* était de.	7,924 79	41,994 66
Les recettes effectuées pendant le 1er semestre de 1879, se sont élevées à.	34,069 87	
Les sorties de caisse du semestre se sont élevées, pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.), à.		28,182 60
Il reste en caisse à ce jour.		13,812 06

dont 3,946 fr. 72 c. appartenant au capital inaliénable.

D'après le détail de la situation présentée par le Trésorier, le fonds

courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante à la date du 20 juin 1879.

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces.	9,865 54
2° De 127 obligations du Midi, achetées avant 1879, ayant coûté.	41,863 65
	51,728 99

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° Un hôtel dont la construction a coûté. . .	278,706 90	
2° En espèces..	3,946 72	
3° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo.	6,000 00	213,653 62
	288,653 62	
d'où il faut déduire pour 150 obligations de 500 fr. à rembourser par tirages successifs.	75,000 00	
Total de l'avoir de la Société.		265,382 61

Les comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. le Président se fait l'interprète de la Société en remerciant M. Loustau de sa gestion et de son dévouement aux intérêts de la Société.

Il est procédé ensuite au tirage de douze obligations. Les numéros amenés sont les suivants : 22 — 31 — 41 — 63 — 103 — 109 — 111 — 127 — 137 — 160 — 164 et 174. — En conséquence, les douze obligations représentées par les numéros ci-dessus seront remboursées par les soins du Trésorier.

L'ordre du jour appelle l'entretien sur le Canal interocéanique.

M. le Président donne la parole à M. Cotard, l'un des membres délégués par la Société des Ingénieurs civils au Congrès qui vient d'étudier cette importante question.

M. Cotard, qui a été rapporteur de la Sous-Commission chargée de l'examen des questions techniques de l'œuvre soumise au Congrès, se met à la disposition de la Société pour faire succinctement l'exposé qui lui est demandé; mais il sent toute la difficulté de sa tâche, et fait appel à l'indulgence de l'Assemblée et des éminentes personnalités qui ont pris part aux travaux du Congrès et qui assistent à la séance.

Le résultat des délibérations du Congrès a été que le Canal interocéanique devrait passer par le col de Panama, et qu'il serait à niveau d'une mer à l'autre.

A cette importante décision est venu s'ajouter un fait considérable; M. de Lesseps, que la Société a l'honneur de voir assister à cette séance, s'est mis à la tête de cette vaste entreprise.

M. Cotard est particulièrement heureux de la présence de M. de Lesseps, et se félicite de pouvoir ainsi exposer devant lui, avec la plus respectueuse

déférence et avec la plus entière franchise, les motifs qui l'ont conduit à s'abstenir lors des résolutions votées dans le Congrès. S'il s'est produit, comme on devait s'y attendre, dans l'examen d'un problème aussi complexe quelques divergences d'opinion, il ne nuira pas à une aussi grande question que la Société des Ingénieurs civils prenne connaissance des discussions auxquelles elle a donné lieu. Les rapports des commissions qui seront bientôt publiés fourniront d'utiles renseignements pour approfondir les questions que M. Cotard se contentera d'exposer brièvement. Il tient d'ailleurs à bien établir qu'il n'émettra que des opinions personnelles sans engager la responsabilité de qui que ce soit.

Jamais peut-être semblable réunion d'Ingénieurs et d'hommes éminents n'a eu à examiner une question plus difficile. Il a fallu toute la hardiesse de M. de Lesseps pour s'attacher sans hésitation à une solution définitive.

M. Cotard se trouve parmi ceux qui ont cru devoir conseiller une nouvelle étude de ce grand problème, surtout en présence de l'opinion, exprimée par les Américains, qu'au delà d'une dépense de cinq cents millions l'œuvre du Canal interocéanique ne pourrait être entreprise par l'industrie privée sans le concours financier des États intéressés. L'utilité de cette étude est motivée par la déclaration faite par M. de Lesseps lui-même, à l'ouverture du Congrès, qu'il ne fallait pas demander de subsides aux gouvernements, que cette œuvre si grande devait être libre et indépendante, et qu'elle devait pouvoir rémunérer les capitaux nécessaires à sa réalisation.

En attendant l'impression des rapports, il croit devoir se contenter pour aujourd'hui de dire quelques mots de chacun des principaux projets, c'est-à-dire des tracés par Tehuantepec, le Nicaragua, Panama, San-Blas, et par l'Atrato et le Napipi.

M. Cotard a exprimé au sein du Congrès son opinion que la solution du canal à niveau serait, sans contredit la meilleure, mais qu'il ne fallait pas rejeter à priori l'emploi des écluses si le percement à niveau était trop onéreux.

Les écluses sont d'un fonctionnement parfaitement connu; les Ingénieurs hollandais ont déclaré qu'il était facile de faire passer dans une seule écluse quinze navires par jour; ce qui, pour un tonnage moyen de 2,000 tonnes, représente 10 millions de tonnes par an. Des écluses doivent donc être admises si elles apportent à la réalisation de la grande œuvre en question une économie de plusieurs centaines de millions.

Mais, la commission technique a cru devoir, dans un but d'extrême sécurité, imposer la condition de juxtaposer à chaque écluse trois sas accolés, ce qui a plus que doublé la dépense de ces ouvrages. C'est ainsi que le projet par Tehuantepec, qui comporte 120 écluses estimées chacune à 7 millions de francs, s'est trouvé tout de suite écarté par cette charge énorme.

M. l'ingénieur de Garay, délégué par le gouvernement mexicain, a exposé au contraire qu'on pouvait se contenter d'un canal livrant passage à la marine marchande avec des écluses de 6 mètres, ce qui conduirait à un travail relativement facile et il a cité l'estimation faite dans ces conditions par l'ingénieur William, qui ne s'élève qu'à 150 millions de francs.

Dans le projet par le Nicaragua, la partie centrale est formée par un lac inépuisable, dont l'altitude n'est que de 33 mètres. Du côté de l'Océan Pacifique, on ne rencontre qu'un seuil de 13 mètres, ou, suivant une autre variante, de 40 mètres de hauteur. De l'autre côté se trouve la rivière de San-Juan, qui peut être rendue navigable suivant les procédés ordinaires, au moyen de barrages et d'écluses.

M. Ménocal, qui a présenté sur ce tracé un projet parfaitement étudié, estime son coût d'exécution à 65 millions de dollars, soit à 325 millions de francs. La Commission a cru devoir considérablement élever ces évaluations, en triplant le nombre des écluses, et en demandant l'élargissement du canal à 100 mètres dans la rivière San-Juan.

M. Ménocal a protesté contre ces exigences, mais la Commission les a maintenues et est arrivée ainsi au chiffre de 700 millions de francs.

M. Blanchet a proposé de remplacer les quatre barrages que suppose le projet de M. Ménocal, par un seul, et a présenté une évaluation qui ne s'élève qu'à 288 millions, mais son projet n'a pas paru pouvoir comporter une vérification précise.

M. Ménocal a aussi présenté un projet à écluses par Panama. Le projet à niveau était évalué par les auteurs MM. Wyse et Reclus, à 475 millions. Certes c'étaient là des conditions séduisantes, mais beaucoup de personnes ont été frappées par le peu de certitude des prix d'exécution qui figurent dans ce projet, et la sous-commission a été conduite à porter cette dépense à plus d'un milliard. Une autre solution présentée par M. de Lepinay, consistait à créer un lac intérieur au moyen de deux barrages placés aux deux extrémités.

Par San-Blas, il y aurait à faire un tunnel important, et peu de tranchées. Mais on a été conduit à penser que le coût de ce canal serait encore plus élevé que celui du passage par Panama.

Enfin, dans la solution proposée par l'Atrato, le commandant Selfridge propose d'emprunter le fleuve Atrato, qui pénètre profondément dans les terres, et d'entrer en tunnel dans la vallée du Napipi pour sortir au moyen de deux écluses dans le Pacifique.

Quel que soit le projet qui sera exécuté, il faudra une écluse du côté du Pacifique, afin de se tenir à l'abri des courants alternatifs très importants que produiraient les marées. Le choix entre ces divers tracés était fort embarrassant pour ceux des membres du Congrès qui voulaient mettre leur vote d'accord avec les résultats de l'examen de la Sous-Commission. Des études sérieuses complémentaires leur ont paru nécessaires.

S'il est démontré que le projet indiqué par le Congrès est trop coûteux, il faudra bien reprendre l'examen des autres tracés. M. Cotard répète qu'il a été très frappé de cette déclaration des Américains, relative au chiffre au delà duquel l'entreprise ne pourrait plus être rémunératrice. Il est peu probable en effet, que le Canal interocéanique rapporte, dès son ouverture, autant que le canal de Suez, après dix ans d'existence et de succès, soit plus de 30 millions; c'est l'intérêt à 5 pour 100 d'un capital de 600 millions.

Si donc le projet par Panama doit coûter 1,200 ou 1,400 millions, ce sera sans doute une œuvre grandiose pour les gouvernements intéressés, mais ce ne sera plus un travail auquel l'épargne publique puisse être employée utilement.

M. Cotard dit que ce sera une grande gloire pour M. de Lesseps d'avoir produit en faveur de cette colossale entreprise un puissant mouvement d'opinion qui attirera de nouvelles et de complètes études. Quand l'œuvre entrera dans la voie de la réalisation, les études diront ce que doit coûter le canal à niveau. Peut-être est-il à Panama même quelque autre moyen d'établir un passage plus économique.

Il est utile de remarquer qu'aucune analogie n'existe entre les travaux dont il s'agit et ceux du canal de Suez. A Panama, le pays est insalubre, le terrain accidenté, et il ne semble pas facile de creuser dans les roches les plus dures de profondes tranchées, au fond d'une vallée où coule un grand fleuve et où règnent des pluies torrentielles.

On a bien proposé de retenir ces eaux par un grand barrage destiné à régulariser leur débit et à dériver le fleuve le long du canal. Mais, il faut le reconnaître, il s'agit là d'un problème des plus difficiles et qui n'a pas pu encore être résolu dans aucun pays d'une manière satisfaisante.

Il est donc permis d'exprimer un doute sur la possibilité de creuser un canal dans le fond d'une vallée qui reçoit d'aussi énormes quantités d'eau. On peut juger de l'importance des pluies par la rapidité des crues du Chagres.

C'est dans cet ordre d'idées que M. Cotard a cru devoir s'abstenir lors du vote émis par le Congrès. Il conserve la conviction que le grand résultat du Congrès a été d'obtenir le concours de M. de Lesseps, mais que des études définitives devront être entreprises pour déterminer notamment le relief exact du sol, tracer les courbes de niveau, et indiquer par des sondages multipliés la nature des roches.

Le Congrès penchait manifestement pour la solution du canal à niveau; on a réduit, à cet effet, autant que possible les sections des tranchées. Mais certains Ingénieurs ont pensé que, dans des tranchées aussi profondes, des talus presque verticaux ne présenteraient pas une stabilité suffisante. Même dans le rocher, il est difficile d'admettre qu'on ne rencontre pas des plans de glissement qui produiraient des éboulements.

En ce qui concerne le tunnel, une voûte de 40 mètres de diamètre n'est pas sans inspirer quelque inquiétude; des pieds droits qui pourront atteindre l'importance de véritables murs de soutènement seront sans doute nécessaires. On ne saurait dire où l'on s'engage dans une telle voie.

De 475 millions, estimation des auteurs du projet, l'évaluation est portée d'emblée à 1200 millions par la Commission. L'indécision est par trop grande.

M. Cotard répète que des études définitives sont indispensables, et que si le devis d'une œuvre aussi colossale ne peut être fait exactement, il est, du moins, permis d'espérer qu'on peut l'établir avec un peu plus d'exacti-

tude. Cette étude est la plus belle œuvre qui puisse être entreprise; peut-être conduira-t-elle à l'exécution du canal à niveau, mais plutôt, sans doute, pour réduire la dépense, à relever le plan d'eau, au moyen de barrages et d'écluses, pour diminuer considérablement le cube des déblais et se mettre à l'abri des difficultés énormes résultant de l'affluence des eaux.

Tout ce qu'on peut désirer, c'est donc que ces études soient exécutées, et qu'elles conduisent à une solution qui satisfasse les Ingénieurs les plus exigeants. La Société suivra ces études avec le plus haut intérêt et rend hommage dès aujourd'hui à M. de Lesseps qui seul avait l'autorité de les faire entreprendre.

M. le Président remercie M. Cotard de son intéressante communication, et demande si quelque membre de la Société désire prendre la parole sur l'importante question qui vient d'être exposée.

M. Molinos dit que M. Cotard a eu grandement raison de penser que la Société suivra avec le plus précieux intérêt cette question.

Trois grands projets, en somme, sont en présence :

Celui de Panama,

Celui de Nicaragua,

Celui de Téhuantepec.

M. Molinos croit qu'il est ressorti du Congrès un point très important, c'est la possibilité du percement.

Il reste à beaucoup de personnes un doute très sérieux sur la meilleure solution à adopter. Aussi peut-il être intéressant de préciser aujourd'hui les grandes lignes de chaque projet.

Au Nicaragua, c'est un grand lac, capable d'alimenter sur les deux versants un canal à écluses.

A Panama, c'est un canal à niveau, mais avec des difficultés qu'il importe de préciser, tranchées ou tunnel dont il faudrait déterminer les dimensions, apprécier les difficultés d'exécution.

C'est une grande question que celle de creuser un canal dans un thalweg où coule un fleuve dont le débit peut s'élever à 1200 mètres cubes par seconde. La dérivation semble bien difficile, et garantirait insuffisamment les travaux contre les infiltrations et contre les eaux provenant des pluies dans un pays où il tombe trois mètres d'eau, par mètre carré, dans une année.

Il semble donc très utile de préciser les conditions techniques.

M. Molinos demande à M. Cotard de vouloir bien indiquer quels sont les profils admis pour les tranchées dans le projet du canal à niveau. Il serait aussi très intéressant de faire un parallèle entre les travaux projetés et ceux du canal de Suez.

M. Cotard indique par un croquis, fait au tableau, la section supposée pour les tranchées en rocher, section qui comporte une largeur de 22 mètres au plan d'eau à talus verticaux, une banquette de 2 mètres et les talus à 10 de hauteur pour un de base.

La hauteur maxima de ces tranchées serait d'environ 84 mètres; les écluses mesurent 20 mètres de large sur 150 mètres de longueur.

Pour le tunnel, sa hauteur seule est déterminée; les auteurs proposaient pour la voûte une forme ogivale, mais la forme en plein cintre a semblé préférable à la Sous-Commission. La section de ce tunnel reste dans le vague, à cause surtout de l'indétermination du revêtement à adopter.

40,000 francs le mètre est le prix admis par hypothèse; quant à la longueur elle est, suivant les variantes, de 7,000 mètres, de 6,000 mètres, ou un peu au-dessous, en augmentant les tranchées.

Répondant à la seconde partie de la question posée par M. Molinos, relativement à une comparaison avec le canal de Suez, M. Cotard expose que la largeur est de 22 mètres au plafond, avec 8 mètres de profondeur et talus de deux pour un; au-dessus du niveau de l'eau règnent des banquettes, puis un talus également à 2 de base pour 1 de hauteur.

Dans certains points M. Lavalley a modifié ce profil de la façon la plus heureuse, en adoptant pour la berge la forme que les talus en sable tendent naturellement à prendre sous l'action prolongée des eaux.

M. Cotard expose encore les doutes qu'il a entendu exprimer par des marins sur la navigabilité d'un canal étroit, comme celui proposé pour l'Isthme de Panama; les chocs contre des parois en rocher pourraient être des plus dangereux pour les navires, à moins de consentir à une très grande réduction de vitesse.

Faisant un retour sur l'historique des projets qui ont été présentés au Congrès, M. Cotard croit que les écluses sont aptes à rendre un immense service pour un semblable travail, en procurant une économie importante. Si les Américains se décident à faire un canal à écluses, et parviennent à le réaliser à un prix très inférieur à celui du Canal interocéanique projeté, quel sort sera réservé à celui-ci?

M. Molinos demande à M. Lavalley quelle est son opinion sur la comparaison du profil, qui vient d'être tracé par M. Cotard, avec le profil du canal de Suez.

M. Lavalley répond que la section du canal de Suez n'a que 22 mètres au plafond, avec 8 mètres de tirant d'eau, et des talus à 2 de base pour 1 de hauteur dans des terrains composés de sable, de vase ou d'argiles moyennement dures. Or, un navire de grand tirant d'eau et de grand déplacement occupe presque la moitié de la section du canal, et ne passe pas d'une mer à l'autre sans toucher, ce qu'on remarque aisément par un mouvement d'inclinaison que l'on sent lorsqu'on est à bord, au moment où le navire touche le talus. Ce fait ne présente pas d'inconvénient parce que le canal est creusé dans du sable ou dans de la vase, et qu'il n'y a pas de vents violents dans ce pays; mais si les bords étaient en rocher, il en serait tout autrement; ce serait bien pire, alors qu'on parle de faire naviguer dans une rainure pour ainsi dire, de 22 mètres de largeur, des navires dont la largeur atteint parfois 14 mètres.

A Suez, d'ailleurs, il ne passe que des navires à vapeur, par suite de

l'impossibilité que présente la mer Rouge à la navigation à voile. Il en résulte que presque tous les navires qui fréquentent le canal sont des navires en fer. Des bateaux de bois avec doublage en cuivre, comme les voiliers que recevrait le Canal interocéanique, seraient exposés à des avaries importantes.

Un des caractères de notre belle profession d'Ingénieur, ajoute M. Lavalley, c'est de nous obliger à envisager les projets à tous les points de vue, de nous les faire étudier sous toutes les faces. Nous ne devons pas nous borner à faire des dessins, des projets, des études ; il faut les compléter par des devis, et étudier consciencieusement ce qui nous paraît devoir rendre le plus de services avec la moindre dépense possible.

S'agit-il d'un chemin de fer ? Nous commençons par étudier les lieux, nous rendre compte des caractères principaux du pays, et c'est après avoir mûrement examiné et posé toutes les conditions si diverses qui peuvent influer sur la préférence à donner à tel ou tel tracé qu'on se décide pour celui qui est prouvé le plus avantageux.

Pour le percement de l'Isthme de Panama combien les conditions diffèrent de celles qu'on rencontrait à Suez ! Là, deux mers, dont l'une seule marnait au minima 1,^{m}80, un sol plat, un terrain éminemment facile à creuser, du sable, de la vase, de l'argile, quelque peu de rocher près de Suez, une altitude maxima d'environ 15 mètres et un terrain sec ; pas de thalweg, pas de pluies. L'eau était utilisée lorsqu'on le désirait, pour porter le matériel, dragues et gabarres. Enfin, le climat était sain.

Dans l'Isthme Américain, au contraire, nous trouvons l'Océan Pacifique avec des marées de 6 mètres en marée de vive eau et 3 mètres en marée de morte eau ; les Cordillières traversant tout l'Isthme avec une altitude minima de 60 mètres, au point où se trouve le plateau du lac du Nicaragua.

Le terrain est formé de roches primitives de la plus grande dureté, le climat est des plus meurtriers ; enfin l'eau, bien loin de se présenter comme un précieux auxiliaire, constitue un adversaire terrible.

Si nous voulons faire traverser à des marchandises l'Isthme de Panama, et le faire au meilleur marché possible, *à priori* la solution d'un canal à points de partage s'impose à l'esprit, étant donnée la présence d'un lac, le Nicaragua, capable d'alimenter éternellement les deux versants.

A Panama même, si ce point est choisi, il ne semble pas impossible de créer aussi, au moyen de barrages, un bief de partage.

Un canal à écluses rendrait-il tous les services qu'on en attend ?

Une grande prévention animait le Congrès à ce sujet.

Est-ce cependant un problème nouveau, difficile à résoudre que la construction de grandes écluses capables de donner passage aux plus grands navires de la marine marchande ? Assurément non, car il en existe dans tous les ports à marée, et leur entretien ne donne lieu ordinairement, ni à de longs chômages, ni à de coûteuses réparations.

Allègue-t-on la perte de temps qui résulte pour les bateaux de leur passage dans l'écluse ? Soit, mais cherchons à évaluer ce que coûte réellement le passage d'un bateau.

Quand on garde un navire, que paie-t-on par jour, sous le nom de surestaries? Trente à cinquante centimes par tonneau pour les voiliers, quatre-vingts centimes pour un steamer.

Or les Ingénieurs hollandais admettant que 15 bateaux peuvent traverser une écluse dans un jour de 10 heures, c'est au plus une heure par bateau qu'il faut compter comme perte de temps.

Le coût correspondant sera de $\frac{0,40}{24} = 1^c,6$ par tonneau pour un voilier,

de $\frac{0,80}{24} = 3^c,3$ pour un steamer.

Dix écluses chargeront donc la tonne de marchandises de 16 centimes à 33 centimes.

Mais si un canal à niveau coûte 500 millions, tandis qu'un canal à écluses n'en coûterait que 250, le prix de passage pourra être de 10 francs, par exemple, dans le premier cas, et de 5 francs seulement dans le second. Cette différence serait grande par rapport au coût résultant des écluses.

Cette question est d'une importance capitale, parce que le canal à niveau paraît devoir coûter beaucoup plus que le canal à écluses.

Les Ingénieurs ne peuvent pas ne pas examiner sous toutes ses faces une question de cette nature. Une objection opposée à la construction des écluses a été la fréquence des tremblements de terre dans la région qui nous occupe.

Mais il est permis de penser que les dégâts résultant pour les écluses de ces mouvements du sol se réduiraient à des fissures, à des accidents relativement faciles à réparer.

S'est-on demandé, d'autre part, quel effet ces mêmes tremblements de terre pourraient produire sur un tunnel de quarante mètres d'ouverture?

M. Lavalley conclut que l'examen technique et l'examen économique poussent vers la solution au moyen d'un canal à écluses.

Il est cependant certain que de très longues études seront nécessaires avant de rallier à un même avis tous les hommes de l'art.

Quelle que soit la solution à laquelle conduiront les études que va poursuivre la Compagnie à la tête de laquelle se place M. de Lesseps, nous ne saurions trop admirer l'énergie, le courage de l'homme qui, après avoir doté le monde du canal de Suez, aborde résolument cette autre gigantesque entreprise devant laquelle les nations les plus puissantes semblaient reculer. Il y réussira, parce que cette entreprise est une œuvre d'émancipation et de progrès qui intéresse le monde entier.

M. Eiffel qui a participé aussi comme délégué de la Société aux travaux du Congrès s'associe complètement aux idées qui viennent d'être si bien exposées.

Il ajoute seulement que la navigation libre, que donne le canal à niveau, l'est en réalité beaucoup moins que cette désignation semblerait l'indiquer. En effet, le canal étant constitué, sur tout le parcours des tranchées profondes, c'est-à-dire sur 30 kilomètres, par une cunette étroite, qu'il est à peu

près impraticable d'élargir pour former des bassins de garage, il en résulte que pendant tout le temps qu'un navire allant dans un sens sera engagé dans cette longue tranchée, aucun autre navire ne pourra circuler en sens inverse, et il devra ainsi perdre un temps très considérable au garage qui précédera la tranchée.

Avec un double système d'écluses qui formeraient avec leurs avant et arrière-bassins des lieux de garage, tout indiqués, la circulation serait possible en deux sens dans les écluses, et il n'y aurait peut-être pas avec une bonne organisation beaucoup plus de temps de perdu en éclusage, qu'en attente dans les garages du canal à niveau.

M. Eiffel croit devoir ajouter que le nombre des écluses peut être beaucoup plus réduit que la Commission ne l'a supposé en limitant la chute à 4 mètres. Avec le système de portes glissantes qu'il a étudié avec MM. Pouchet et Sautereau et dont il se propose d'entretenir prochainement la Société, il croit parfaitement possible d'atteindre sinon 25 à 30 mètres de chute, ce qui au point de vue des maçonneries peut présenter certaines difficultés, mais au moins 15 mètres. Le nombre des écluses et par suite les inconvénients qu'elles présentent d'une manière générale sont ainsi considérablement réduits. Ces grandes écluses ont en outre l'avantage de conduire à la solution par relèvement des plans d'eau qui lui paraît devoir être celle préférable à tous égards.

M. Hamers demande aux partisans du canal à écluses pourquoi ils ne tiennent pas compte, dans leurs calculs, du temps qu'un bateau devra perdre assez souvent, *en attendant son tour*, quand il se trouvera près d'une écluse en même temps que d'autres bateaux et derrière eux.

M. Eiffel répond que les navires s'espaceront plus ou moins dans le canal, et que la perte de temps dont on a parlé peut ne pas beaucoup excéder celle même nécessaire pour le garage des navires.

Vu l'heure avancée, M. le Président propose d'ajourner la suite de la discussion sur les projets de percement de l'Isthme Américain à une prochaine séance.

M. E. Muller exprime l'avis qu'il y aurait avantage à reculer l'époque de la reprise de cette discussion jusqu'après l'impression des rapports qui ont été lus au Congrès, et dont il a corrigé les dernières épreuves il y a quelques jours en sa qualité de l'un des trois secrétaires de la commission technique.

Cette proposition est adoptée.

M. le Président adresse de nouveau à M. de Lesseps des remerciements au nom de la Société pour avoir bien voulu assister à cette séance, et dit que la reprise de l'intéressante discussion qui s'est ouverte sur cette question si importante sera annoncée ultérieurement à l'ordre du jour d'une prochaine séance.

ÉTUDE

SUR LE

BLANCHISSAGE DU LINGE

PAR DES PROCÉDÉS MÉCANIQUES

PAR M. N. SERGUEEFF

La question du blanchissage du linge est entrée depuis quelque temps dans le domaine de la grande industrie.

Pour montrer qu'elle touche aux intérêts vitaux du pays, tant au point de vue financier qu'au point de vue de l'hygiène, nous essayerons d'esquisser la statistique générale des capitaux qu'elle déplace. — Parmi les départements où l'industrie a la plus grande extension, à cause de la densité de la population, il faut citer les départements de la Seine et de Seine-et-Oise, c'est là aussi que nous avons pu recueillir les données les plus certaines. Pour apprécier le chiffre d'affaires de la blanchisserie dans la France entière, on en est réduit aux calculs de probabilités.

Péclet, dans son *Traité de la chaleur*, à propos d'une étude des appareils employés dans les buanderies, estime que la dépense annuelle du blanchissage, en France, s'élève à 1700 millions. Ce chiffre nous paraît exagéré, car, malheureusement, il est bien constaté que la population ouvrière, soit dans les villes, soit dans les campagnes, ne s'astreint que difficilement aux soins de propreté prescrits par l'hygiène; nous pensons donc qu'en portant la moyenne de la dépense à 10 fr. par an, nous nous rapprocherons plus sensiblement de la vérité : par conséquent la dépense totale pour la France serait de $36,000,000 \times 10 = 360,000,000$ de francs.

Nous verrons plus loin si ce chiffre est exagéré en le comparant aux deux départements cités plus haut : Seine et Seine-et-Oise. — Dans Paris, il faut distinguer deux catégories d'industriels : ceux qui coulent

le linge chez eux et ceux qui font cette opération dans les lavoirs publics. On appelle les premiers, les buandiers; les seconds, les blanchisseurs. Le nombre des buandiers dans les deux départements est d'environ 3,000. — Les plus grandes agglomérations sont à Boulogne-sur-Seine, 370; Versailles, 120; Rueil, 102; Sèvres, 93; Chaville, 88; etc.

Les lavoirs publics reçoivent en moyenne, par jour, 1,000 kilog. de linge, soit, pour 300 jours de travail, 300,000 kilog.

Le nombre de ces établissements à Paris est actuellement d'environ 280, il était, d'après le rapport adressé par notre collègue M. Émile Trélat, en 1850, à la commission des *Bains et Lavoirs publics*, de 90.

Les 280 lavoirs produisent donc annuellement : 84 000 000 kilog.

Leur recette annuelle est évaluée en moyenne à 22,000 fr. par lavoir, soit un total de 6,160,000 fr. et par kilog. de linge : 0,073.

Le nombre de bateaux-lavoirs sur la Seine est de 19 et sur le canal Saint-Martin 4, total 23.

En 1852, ce nombre était sur la Seine. . . 64
Canal Saint-Martin. 17
Total. 81

Chaque bateau-lavoir fait en moyenne, une recette annuelle de 30,000 fr. et produit 1,500 kilog. de linge par jour, soit pour tous les lavoirs et pour 300 jours de travail un total de. . . . . 10 350 000.
leur recette totale sera : 690,000
et par kilog de linge. 0,069
chiffre qui s'approche de celui obtenu par les lavoirs publics.

Total. . . . . 94 350 000 kilog.

Or, la Chambre syndicale pense qu'à Paris chaque habitant donne en moyenne 3 kilog. de linge par semaine, soit par an 156 kilog. et pour une population de 1,800,000 âmes, un total de 280,800,000 kilog. La différence entre ce chiffre et celui de 94 millions représente le linge blanchi par les industries et par les ménages.

Nous devons une partie de ces renseignements à l'obligeance de

M. Drouard, président de la Chambre syndicale des blanchisseurs et buandiers des départements de Seine et Seine-et-Oise.

Depuis un certain nombre d'années les buanderies ont fait de grands progrès, grâce à l'étude et à la persévérance de quelques hommes de mérite, et peuvent être classées parmi les industries fort importantes. C'est en France qu'existent les usines centrales les plus considérables. Les établissements privés ou publics qui exploitent cette industrie sur une grande échelle, sont :

1° La Compagnie des lits militaires qui possède l'usine la plus importante à Grenelle, où elle blanchit environ 3,000,000 de kilog. de linge par an, et en province ses établissements les plus grands sont à Lyon, Marseille, Toulouse, et Amiens; en dehors de cela, elle blanchit dans 300 buanderies disséminées dans tous les départements de France et d'Algérie. Sur les 300 buanderies, 200 sont pourvues d'appareils à ébullition. Le chiffre total de linge blanchi annuellement s'élève à 30,000,000 de kilogrammes.

2° L'Assistance publique de Paris, qui possède, pour le blanchiment de son linge, 16 buanderies, savoir : aux hôpitaux de Saint-Louis, Vieillesse femmes (Salpêtrière), Sainte-Eugénie, Lariboisière, Incurables (Ivry), Petits-Ménages (Issy), Pitié, Maison d'accouchements, Cochin, Sainte-Perrine (Auteuil), Hôpital temporaire, Enfants assistés, Vieillesse hommes (Bicêtre), La Rochefoucauld et enfin la Reconnaissance (Garches). Cette administration blanchit annuellement près de 9,000,000 de kilog. de linge.

3° La blanchisserie de Courcelles, à Paris, appartenant à la Compagnie immobilière, blanchit le Grand-Hôtel de Paris et fait la location de linge. Poids du linge blanchi par an : environ 1,800,000 kilog.

4° Blanchisserie centrale des hôpitaux de Lyon : Hôtel-Dieu, l'Antiquaille, la Charité, le Perron, Sainte-Eugénie, les Vieillards de la Guillotière, la Croix-Rousse, blanchit environ 1,400,000 kilog.

5° Blanchisserie à vapeur de la Gironde, Dejean, Lapalus et Cie. Bordeaux, 600,000 kilog.

6° La blanchisserie de Monaco blanchit environ 225,000 kilog.

7° Blanchisserie de Nice, 200,000 kilog.

En résumé ces sept grands établissements blanchissent annuellement environ 44,000,000 de kilog., ce qui, au prix moyen de 0f,10 par kilog., représente un chiffre de 4 à 5 millions de francs.

En dehors de ces établissements importants, nous trouvons un certain nombre de blanchisseurs qui ont monté ou qui exploitent des usines d'une importance moindre ; nous pourrions citer Guibert, à Boulogne ; Perronnet, à Paris ; Auley, à Versailles ; Debeaune, à Lyon. Puis viennent une foule de buandiers groupés autour des grandes villes, qui sont restés en dehors du mouvement du progrès et que tous les perfectionnements ne feraient pas sortir de la routine, à cause des préjugés enracinés ou faute de fonds pour créer un matériel nouveau.

Les améliorations considérables apportées à cette industrie ont été provoquées par deux mobiles différents. Réduire par tous les moyens possibles la main-d'œuvre et par conséquent le prix de revient du blanchissage et augmenter, dans certaines limites, la durée du linge. Cette dernière considération ne préoccupe guère les petits industriels qui blanchissent le linge appartenant à leur clientèle.

Blanchissage. — On donne le nom de blanchissage à l'opération au moyen de laquelle on enlève au linge sali dans les usages domestiques, les impuretés déposées par son emploi. Les matières étrangères du linge sale sont les matières albumineuses, les matières grasses, les matières inertes non solubles et enfin les substances colorées non fixées. Tous les appareils, toutes les manipulations doivent avoir pour but et pour effet, l'enlèvement de ces impuretés sans attaquer, soit mécaniquement, soit chimiquement, la fibre du linge et le rendre dans un état primitif.

Pendant longtemps, le linge était blanchi dans les ménages, sans appareils spéciaux et sans aucune méthode définie, en le soumettant à une série d'opérations fort simples, il est vrai, mais très préjudiciables à sa conservation. Encore maintenant, la plus grande partie du linge est blanchie, en France aussi bien que dans d'autres pays, par l'ancienne méthode et il est bien impossible de déraciner les anciens préjugés. Combien de fois n'avons-nous pas entendu dire que le linge se conservait et durait plus longtemps à la campagne que dans les villes. Ce fait incontesté tient à une autre cause qu'à celle qu'on lui attribue. En province, on a l'habitude de ne blanchir le linge que rarement; on espace les lessives tous les trois, quatre et même six mois ; chaque particulier doit donc en posséder un grand approvisionnement. La durée du linge se compte par le nombre de blanchissages qu'il a subis

et non par le nombre d'années qu'on le possède. En province, le linge pour attendre l'époque très éloignée de la lessive est entassé, pendant des mois entiers; les matières azotées qu'il contient fermentent et attaquent la fibre de la toile. Quelquefois, on a la précaution d'essanger, dans une eau douce, le linge sale et de le sécher avant de l'entasser; l'inconvénient signalé ci-dessus est écarté, mais le lessivage des taches anciennes est plus long et la dépense en matières premières plus grande.

La série d'opérations par lesquelles on fait passer le linge dans les ménages, ainsi que les produits chimiques qu'on emploie sont fort préjudiciables à sa conservation. Le prix de revient de ce blanchissage est bien supérieur dans une petite installation que dans la grande industrie.

Dans une buanderie industrielle bien installée et surveillée, le linge n'est soumis à aucune opération qui puisse hâter son usure. Nous décrirons plus tard les appareils et les procédés employés dans les ménages, lavoirs publics, ainsi que ceux en usage dans les grandes buanderies.

Les perfectionnements qui ont été apportés dans les appareils de la buanderie sont dus aux progrès réalisés dans les procédés de blanchiment des étoffes.

Tant que les buanderies étaient disséminées et que le service n'était pas groupé dans un grand établissement, il n'y avait pas à espérer l'emploi des moyens mécaniques, qui demandent une mise de fonds considérable, des connaissances spéciales et une direction éclairée. Les premiers progrès dans la blanchisserie ont été réalisés par M. Eugène Flachat, dans l'usine de Courcelles, fondée en 1863.

Les premiers appareils employés étaient défectueux; plus tard, quelques constructeurs en évitant les défauts de leurs devanciers sont tombés dans d'autres erreurs, et enfin, aujourd'hui, les appareils quoique fort bien étudiés ne sont pas arrivés encore à leur perfection.

Un ingénieur qui serait appelé aujourd'hui à étudier la question de blanchissage pour l'installer industriellement, ne trouverait dans aucun traité spécial, des renseignements exacts qui le mettent au courant des progrès accomplis dans les dernières années ; il se verrait dans la nécessité de parcourir des blanchisseries industrielles, de recueillir des documents que les directeurs lui donneraient avec plus ou moins de

bonne grâce, et enfin de s'adresser aux constructeurs spéciaux qui ont chacun un appareil différent qu'ils préconisent.

Parmi les auteurs qui se sont occupés de la question, nous devons citer: Rouget de Lisle (*Manuel* de Roret), *Blanchiment, du blanchissage et du dégraissage;* on trouve dans ce livre l'historique des inventions anciennes, et tous les tâtonnements par lesquels les hommes ont passé. Nous ne trouvons aucune indication sur les inventions les plus récentes; du reste, depuis 1850, ce manuel n'a pas eu de nouvelles éditions.

Dans le Dictionnaire de Laboulaye, M. Salvetat étudie la question du blanchiment et du blanchissage, mais les derniers perfectionnements s'arrêtent aux appareils Bouillon et Muller; depuis, l'industrie du blanchissage a progressé.

On pourra utilement consulter le rapport de la Commission sur les bains et lavoirs publics, adressé par M. Émile Trélat, en 1850, au ministre de l'Agriculture et du Commerce.

Enfin dans le *Traité de la chaleur* de Péclet, notre maître donne une étude approfondie sur quelques appareils de lessivage qui tendent à disparaître, mais cette étude n'indique rien qui puisse guider un ingénieur sur le choix des appareils, leur prix, et leur rendement. Nous trouvons aussi, dans l'intéressante publication d'Oppermann quelques indications et descriptions des appareils de blanchissage.

Nous n'avons pas la prétention de combler complètement les lacunes des ouvrages cités plus haut, mais sachant par nous-même quelle difficulté nous avons éprouvée à réunir et à coordonner des renseignements pratiques et techniques sur tous les appareils employés en France et à l'étranger, nous avons voulu rendre compte de ces recherches, heureux si elles peuvent un jour aider un collègue.

La question doit être traitée à un double point de vue, sous le rapport des installations et perfectionnements à apporter dans les ménages et dans les petits établissements et sous le rapport d'une grande usine industrielle disposant d'une force motrice et blanchissant annuellement au moins 1 million de kilogrammes de linge. Quelle que soit l'importance de la buanderie, les opérations poursuivant des buts différents peuvent être classées en sept grandes classes, savoir :

1° L'essangeage; 2° le coulage; 3° le savonnage; 4° le rinçage; 5° l'essorage; 6° le séchage; et 7° l'apprêt.

Nous passerons en revue ces différentes opérations en motivant le but, décrivant les différents appareils ayant été employés, les derniers

perfectionnements apportés, leur rendement, leur prix d'acquisition. La première opération que doit subir le linge, est :

L'essangeage. — Comme nous avons dit plus haut, le linge sale contient, entre autres substances, des matières solubles, acides et albumineuses. Cadet de Vaux évalue la quantité de crasse contenue dans le linge sale à 4 °/₀. On ne peut guère établir d'une manière exacte cette qnantité, mais on peut dire que le gros tissu à poids égal en prend plus que le fin et surtout celui qui est déjà usé. Les matières solubles contenues dans le linge sale ainsi que les matières grasses sont dans les proportions suivantes :

Soluble dans l'eau tiède.	57
Soluble dans la lessive	43
Total.	100.

Les matières albumineuses contenues dans le linge sale, mises en contact avec l'eau bouillante, se coaguleraient et produiraient des substances insolubles dans la lessive ; il est de toute nécessité de les dissoudre dans l'eau. C'est le but de l'opération nommée essangeage, elle consiste, après avoir au préalable trié le linge par catégorie de finesse et de blancheur, à le plonger dans des cuves ou réservoirs alimentés par une eau claire et courante rendue légèrement alcaline par une addition de sel de soude et ayant une température de 20° environ. Ce trempage oùvre les fibres du linge et le prépare à bien recevoir l'action de la lessive. Dans la plupart des établissements, comme à la blanchisserie de Courcelles, dans les buanderies appartenant à l'Assistance publique, on se sert pour essanger le linge, de grands bassins en briques enduites de ciment ayant une capacité de 15 à 20^{mc}. Les cuves en tôle présentent toujours le danger de déposer des taches de rouille sur le linge. Quelquefois on essange le linge dans les cuviers mêmes où doit se faire le coulage, cette pratique doit être rejetée, car les parties solubles de la crasse restent interposées dans le linge et l'essangeage est mal fait.

Un excellent moyen d'arriver à un bon résultat et qui est rarement employé, c'est de tremper le linge et de le passer en contact avec l'eau tiède dans un tonneau rinceur que nous aurons l'occasion de décrire plus tard.

J'ai remarqué que dans la buanderie centrale des hôpitaux de

Lyon, on essange le linge spécial au tonneau. Dans le temps, on enlevait, dans ce même établissement, les matières solides adhérentes au linge sale, à la main ou avec des brosses; on appelait cette opération batillonnage. Ce travail était pénible, malsain et répugnant.

L'essangeage des toiles neuves ayant leur apprêt, est indispensable avec de l'eau bien chaude et un trempage de quatre heures environ; on doit dissoudre cet apprêt qui se compose d'amidon et de fécule et qui serait recuit par les bassins bouillants.

La durée de l'essangeage est variable, suivant la nature du linge et la capacité des réservoirs; elle doit être en moyenne de 4 à 5 heures. Le linge sommairement égoutté sur des barres en bois est transporté sur des tringles en bois ou fer galvanisé aux cuves de coulage.

Coulage. — Cette opération est la plus importante du blanchissage, c'est d'elle que dépend sa blancheur et sa conservation. Elle a pour but de saponifier par des lessives chaudes, les matières grasses contenues dans le linge et de dissoudre les substances qui n'ont pas été entraînées par l'eau de l'essangeage, de décolorer les taches vineuses et sanguines et celles provenant des fruits, de détruire les œufs et les germes déposés par les insectes et enfin de désinfecter le linge.

Les essais fort nombreux prouvent que le coulage doit s'exécuter par circulations continues avec des lessives et des températures graduellement croissantes jusqu'à 100°. Nous verrons par la suite, si tous les appareils employés remplissent cette condition essentielle.

Pour se rendre compte de toutes les difficultés résolues dans cette industrie, avant d'arriver aux appareils actuellement en usage, il faut revenir à quelques années en arrière pour connaître la façon dont on coulait le linge dans les ménages et chez les petits industriels, consigner les efforts faits par des hommes intelligents qui les premiers ont jeté les bases d'appareils industriels.

Les différents appareils de coulage peuvent se classer en trois grandes catégories, savoir :

1° Coulage ordinaire pratiqué dans les ménages;

2° Affusions opérées par la pression de la vapeur;

3° Coulage mécanique.

4° Coulage à la vapeur.

Nous passerons en revue non seulement les appareils qui sont

aujourd'hui définitivement acceptés par la grande industrie, mais encore ceux qui peuvent rendre certains services dans les établissements d'ordre inférieur.

Coulage ordinaire. — Primitivement le cuvier à linge était séparé de la chaudière à eau chaude. Après avoir essangé le linge, on le tassait dans le cuvier le plus uniformément possible, sans laisser aucun trou, ni passage où la lessive pourrait se rendre librement au fond sans traverser le linge.

On couvrait le cuvier d'une toile grossière appelée *charrier*, sur laquelle on plaçait des cendres de bois ou une quantité de sel de soude, dans la proportion de 2 à 3 par 100 kilog. de linge pesé sec. Le cuvier en bois, à double fond, était muni d'un robinet à la partie inférieure. Quand l'eau de la chaudière était suffisamment chaude, on la versait avec des seaux sur le cuvier. L'eau dissolvait les parties solubles des cendres et formait ce qu'on appelle la lessive qui n'agissait que par son contenu des carbonates alcalins, cette lessive traversait le linge et venait se recueillir dans le double fond, on la rechauffait dans la chaudière pour la verser de nouveau sur le linge et jusqu'à ce que le coulage fût terminé, c'est-à-dire que la saponification des matières grasses du linge favorisée par la chaleur, l'eau et l'alcali fût complète. On reconnaît la fin de cette opération par une odeur caractéristique et agréable que dégage le cuvier, par les perles d'eau qui se forment sur la surface (lessive perlée). Les buandiers se servent d'une expression de métier pour dire que le coulage est achevé « *la lessive ne sent plus le doux.* »

Ce système de coulage offre l'inconvénient de ne faire atteindre à la lessive que la température de 70° qui est insuffisante pour la saponification complète des taches grasses et la désinfection du linge... Par suite des sels de fer contenus dans les cendres de bois, la lessive dépose souvent des taches de rouille sur le linge, colore beaucoup ce dernier et nécessite pour les opérations ultérieures une dépense plus grande de savon et d'eau.

Cette méthode primitive, qui n'est guère industrielle et qu'on ne saurait exécuter économiquement dans une grande buanderie, à côté d'un grand nombre de défauts, a le mérite de servir de point de départ à presque toutes les inventions ultérieures.

On doit donc, tout en supprimant les inconvénients, conserver les

qualités qu'elle a. Les défauts de ce genre de coulage sont fort nombreux. En effet la buée alcaline, cet ennemi persistant qu'on n'a pas encore vaincu dans les buanderies, détériore les bâtiments, rouille le métal, obscurcit l'air, gêne le travail, et elle est d'un fâcheux effet sur la santé des ouvriers.

Le transvasement continuel de la lessive de la chaudière sur le cuvier est une source de déperdition de calorique du liquide lessiviel et occasionne souvent des accidents graves aux travailleurs. Mais à côté de ces défauts que d'habiles constructeurs ont su éviter, il faut noter une qualité essentielle qui est un bon coulage. Un ouvrier intelligent ne versera jamais au commencement de l'opération de l'eau bouillante sur les cendres, mais il élèvera progressivement la température de la lessive depuis l'eau tiède jusqu'à l'eau bouillante. Il faut donc pour constituer les appareils industriels, conserver de l'opération si primitive que nous venons de décrire les qualités qu'elle a.

Le programme que doit remplir un bon appareil de coulage, est : obtenir des affusions intermittentes ou continues, à des températures graduées ; faire évacuer les buées en dedans de l'atelier; commencer les affusions à des températures au-dessous de 30° et les élever progressivement à 100°. Les lessives les mieux faites sont celles qui sont coulées la veille et décuvées le lendemain. Les perfectionnements qui ont été apportés à ces appareils de ménage, sont dus à la maison Bouillon Muller et Decoudun. Les constructeurs fournissent différents types de lessiveuse que nous passerons rapidement en revue. Ce sont des bacs de tôle galvanisée à couvercle, à double-fond de la contenance de 3, 6, 9 et 15 kilos de linge pesé sec. Leur prix varie de 18 à 68 fr. foyer compris.

Dans le double-fond on dépose du savon et du sel de soude ou ce dernier seul dans une proportion de 2 kilog. pour le linge de cuisine et 1 kilog. 500 pour le linge de corps et de literie, par 100 kilos de linge pesé sec. On entasse régulièrement le linge trempé et on met le bac sur un fourneau portatif. Au bout de quelque temps le liquide alcalin se met en ébullition et la circulation s'établit. Il faut, suivant la capacité du bac, 3 à 4 heures pour obtenir un coulage.

Ces appareils nécessitent relativement beaucoup de lessive, mais ils sont un progrès signalé réalisé sur les anciennes cuves à lessives, on n'a plus de buée à redouter, le transversement est supprimé. Ils rendent de grands services dans l'économie domestique.

Affusions opérées par la pression de la vapeur.

La plupart des appareils de coulage sont fondés sur le principe des affusions opérées par la pression de la vapeur.

La vapeur peut être produite dans le milieu même où se trouve la lessive ou dans un générateur spécial. Ce genre d'appareils peut être divisé en deux catégories :

1° Appareils intermittents;
2° Appareils continus.

Dans la première catégorie, il faut ranger tous les appareils qui projettent la lessive par intervalles plus ou moins longs, le liquide lixiviel pouvant être chauffé par une chaudière séparée du cuvier ou se trouver sous le cuvier et faire corps avec lui. Le défaut capital de ce genre de lessivage est de projeter sur le linge froid des lessives bouillantes, de recuire les taches et de les rendre souvent indélébiles. Il se produit en dehors de cela, dans la masse du linge, des courants de lessive qui prennent une certaine direction et qui n'atteignent pas toutes les parties du linge. Le coulage est long et se fait par jet, le premier jet n'arrive souvent qu'après 2 à 3 heures de chauffage, et l'opération doit être conduite par un chauffeur attentif. C'est là précisément un de ses grands défauts puisqu'il est entendu que l'on ne peut jamais s'en rapporter à un chauffeur. Il est évident que si ce dernier néglige son feu au moment où les projections deviennent régulières, tout en restant intermittentes, il se produit un ralentissement qui occasionne une augmentation dans la durée du coulage et aussi une augmentation dans la dépense de combustible, sans compter que si la surveillance n'est pas active et le chauffeur n'avouant pas qu'il s'est produit un ralentissement, la lessive peut être manquée.

Les projections de lessive sont courtes et ne couvrent pas entièrement la surface du cuvier parce que la pomme d'arrosage rotative ou fixe, qui sert à distribuer la lessive, n'est pas proportionnée souvent aux dimensions du cuvier.

Un des premiers appareils qui furent construits sur ce principe est celui de M. René Duvoir, 1837.

Cet appareil industriel est déjà un premier perfectionnement sur les lessivages faits à la main, mais il a des qualités plutôt apparentes que

réelles. L'opinion de M. Payen, qui était en 1839, après l'Exposition, membre rapporteur du jury des récompenses, est la suivante sur l'appareil René Duvoir : « L'ingénieux appareil de lessivage de M. René Duvoir, récemment amélioré, facilite le chargement et le déchargement alternatifs de deux cuviers servis par une seule chaudière. Une seule disposition convenable opère, avec l'échauffement graduel des lessives, des aspersions et des circulations intermittentes qui excluent les inconvénients des fausses voies du filtrage. Le système de lessivage de M. Duvoir est employé avec succès dans plusieurs établissements publics et blanchisseries particulières.

Péclet, dans son *Traité de la chaleur*, s'exprime en ces termes sur l'appareil Duvoir : « Cet appareil est un des premiers qui aient apporté dans le lessivage une grande économie de temps et de combustible. Il a toutefois le grand inconvénient de projeter immédiatement la lessive bouillante sur le linge, ce qui rend souvent les taches presque indélébiles. »

L'inconvénient signalé par Péclet est tellement grave, que partout où une direction éclairée présidait à l'installation des buanderies, les appareils Duvoir ont été remplacés par d'autres. Le coulage, dans l'appareil Duvoir, se fait en vase clos ; la buée formée ne vient plus se répandre dans l'atelier, et tous les inconvénients signalés dans le coulage par aspersion disparaissent. La lessive faite avec des sels de soude et qui marque 3° à l'aréomètre Baumé ne se trouve pas diminuée par les condensations de la vapeur, comme la chose se passe dans d'autres appareils que nous décrirons plus tard. Il n'y a plus de refroidissement du liquide lixiviel, ce qui a pour résultat une diminution notable dans la consommation du combustible. Si donc on pouvait conserver ses qualités et faire arriver la lessive sur le linge à des températures graduellement croissantes jusqu'à 100°, avec une circulation continue ou intermittente, on aurait un appareil parfait.

La durée du coulage d'un cuvier contenant 1000 kilos de linge, est de huit heures environ.

Dans la même catégorie, il faut ranger les appareils à circulation intermittente et pression de vapeur sans addition de la pompe, appareils connus sous la dénomination : appareils à ébullition, construits par un grand nombre de constructeurs et employés presque exclusivement par les petits buandiers, par les lavoirs publics et les bateaux-lavoirs.

Nous donnons (pl. 143, fig. 1, 2, 3 et 4), les dessins représentant cet

appareil à ébullition. La chaudière peut desservir un ou deux cuviers. Elle est en tôle non galvanisée, les cuviers sont en bois. Le tuyau d'affusion, en cuivre rouge, peut desservir indifféremment les deux cuviers, le retour de la lessive dans la chaudière s'opère par un tuyau en cuivre rouge, terminé du côté du cuvier par une crépine, et de l'autre par un clapet de retenue. Ces appareils ne commencent à projeter la lessive sur le linge froid que quand la vapeur formée a une tension suffisante pour vaincre la différence de niveau de la chaudière au cuvier et le frottement des conduits, c'est-à-dire quand l'eau est bouillante. La première projection de la lessive, ou, comme les buandiers l'appellent, *le premier jet*, arrive au bout de deux ou trois heures de chauffage et se répand bouillant par le champignon qui termine le tuyau d'affusion. La lessive traverse le linge, se recueille dans le faux fond et regagne la chaudière par le tuyau de retour, s'y chauffe, et, au bout de quelque temps, est remontée de nouveau, et ainsi de suite. Les jets se suivent à des intervalles plus rapprochés, jusqu'à ce que la masse du linge ait pris la température de la chaudière. On reconnaît la fin de l'opération par les mêmes caractères que nous avons signalés.

Nous voyons que tous ces appareils ont les mêmes défauts que ceux de René Duvoir. La lessive bouillante arrivant sur du linge froid, recuit certaines taches et use prématurément le tissu.

Ces appareils, comme nous le disions plus haut, sont très répandus, et leur succès est dû à leur simplicité, à leur prix modéré; ils sont surtout employés par les buanderies qui n'ont ni souci ni intérêt à la conservation du linge d'autrui.

Dans les grandes blanchisseries, ces appareils à ébullition sont complètement abandonnés. On peut atténuer les défauts signalés et faire un bon coulage en observant les précautions suivantes : avant que le premier jet n'arrive sur le cuvier, on soutire de la chaudière, par un robinet de vidange, quelques seaux de lessive tiède, et on la répand uniformément sur le linge, ou bien on marche à cuvier ouvert. Dans ce cas, la lessive projetée se refroidit par elle-même au contact de l'air, Mais nous trouvons un grand inconvénient à découvrir le cuvier; la buée qui se dégage, surtout par les temps humides et froids où l'air, saturé de vapeur d'eau, ne peut plus en dissoudre; cette buée, dis-je, envahit l'atelier, dégrade tout et gêne le travail. D'un autre côté, le refroidissement continuel de la lessive au contact de l'air nécessite une augmentation de combustible et une durée de coulage plus longue. Je

sais que dans les nouvelles installations faites depuis quelques années, on a supprimé le couvercle du cuvier, et que ceux qui ont éte installés à grands frais à la blanchisserie de Courcelles, par exemple, ne servent presque pas; mais ce fait tient à une autre cause. Les anciens appareils installés par Bouillon et Muller à cette buanderie ainsi qu'à l'Assistance publique, peuvent très bien marcher à cuvier fermé, mais depuis qu'on les a remplacés par d'autres sur lesquels nous reviendrons, et qui nécessitent une surveillance continue, ces couvercles tendent à disparaître. Une bonne disposition qui a été adoptée par la blanchisserie de Courcelles est celle du couvercle en tôle galvanisée (galvanisation blanche au zinc); au centre de ce couvercle conique, qui est mû par un treuil et une chaîne avec poulie de renvoi se trouve un tuyau à emboîtement qui dégage la buée au-dessus des toits. Le prix de ce couvercle, avec son mécanisme pour une cuve de $2^m,30$, est de 360 francs. On reproche à ces couvercles en tôle zinguée, par suite de la vapeur alcaline qui ronge la galvanisation, de tacher le linge. Il y a cependant des établissements qui ont conservé leurs couvercles plus de dix ans. Il est souvent difficile de trouver un point d'attache à la toiture pour suspendre les couvercles. M. Piet, pour éviter cette dernière difficulté, a imaginé un appareil qui a figuré à l'Exposition, classe 53, Annexe, dans lequel les points d'attache du couvercle sont pris sur les bords extérieurs du cuvier. Deux tringles placées aux deux extrémités du diamètre, sont reliées aux couvercles, dont le poids est équilibré par deux lingots en fonte. La manœuvre de ce couvercle n'est pas facile; il faut, pour le soulever ou le faire descendre, agir simultanément sur les deux points d'attache, sans cela tout le système se coince. Mais pour l'encuvage des grands appareils il y a toujours deux personnes, et dans ce cas la manœuvre du couvercle est excessivement simple. Ce défaut a pu être observé dans quelques buanderies, mais ce n'est pas une raison suffisante pour rejeter le principe du cuvier fermé. La halle où se trouvent les appareils de coulage doit être, autant que possible, séparée du reste de l'usine et ne pas avoir d'étages qui la surmontent. La première disposition est de couvrir cette halle en fer et vitrage, et de pratiquer des lanternons pour l'évacuation de la buée. Le sol sur lequel on verse continuellement de l'eau et où circulent des chariots assez lourdement chargés, doit être résistant et imperméable. On peut prendre la disposition suivante : sur une couche de béton asseoir des dalles en granit (Courcelles), rejointoyées en ciment, ou des carreaux de Maubeuge

(Grenelle), ou bien simplement en ciment, comme dans la buanderie d'Ivry (Assistance publique). Nous devons aussi dans l'établissement d'une buanderie faire connaître les prescriptions administratives auxquelles ces établissements devront satisfaire. Nous trouvons dans un livre de notre camarade Bunel sur les établissements insalubres, incommodes et dangereux, des indications précieuses sur les buanderies, qui sont classées dans les établissements insalubres de 3[e] classe.

Les inconvénients que le conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine reproche aux buanderies sont :

Inconvénients.

Altération des eaux ;

Odeurs insalubres par l'écoulement et l'altération des eaux savonneuses ;

Fumée des fourneaux ;

Humidité dans les maisons voisines ;

Buées abondantes.

Prescriptions.

Ventiler ces établissements par des lanternons à lames de persiennes ou de larges trémies d'aération.

Ne pas ouvrir de jours sur les voisins ou sur la voie publique, si les buées doivent incommoder le voisinage.

Rendre le sol imperméable, et écouler souterrainement les eaux à l'égout ou à la rivière, ou n'autoriser qu'à la condition que les ruisseaux de la rue seront en bon état, qu'ils auront une pente rapide, que l'égout ou la rivière seront proches, et que l'écoulement de ces eaux ou leur stagnation n'incommodera pas les habitants des maisons devant lesquelles elles doivent couler.

Munir les cuves de couvercles et les surmonter de hottes conduisant les buées au dehors.

Élever les cheminées à hauteur des souches des cheminées voisines, dans un rayon de 50 mètres. S'il y a habitation mitoyenne, construire un contre-mur en briques ou en meulières hourdées en ciment, ou tout au moins enduire en ciment les murs mitoyens dans toute la hauteur de la buanderie.

S'il y a habitation au-dessus, construire le plancher haut en fer et le hourder plein.

Lavoirs publics.

Ces établissements recevant le public, et la chute des charpentes ayant souvent occasionné des accidents, les prescriptions suivantes leur sont imposées en outre des conditions ci-dessus :

Laisser toujours apparents sur toutes leurs faces les bois et charpentes et les couvrir d'une peinture hydrofuge.

Assembler ces bois par des boulons en fer et ne faire aucun assemblage à tenon et mortaise ou entailles affaiblissant ces bois.

Soulager par des corbeaux saillants en pierre ou en fer, tous les scellements en mur.

Faire porter le plancher haut en plein sur les filets, ne jamais l'assembler.

Réserver à chaque laveuse une place d'un mètre; établir des cabinets d'aisance pour les laveuses.

Si le lavoir est surmonté d'un séchoir à air libre, le plancher de ce séchoir devra être en fer et d'une très grande solidité, la charge du linge accumulé étant souvent considérable.

Construire en matériaux incombustibles, avec fonte ou fer, le séchoir à air chaud.

Telles sont les prescriptions proposées pour les lavoirs par le service des architectes et adoptées par le Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine.

Nous donnons ci-dessous l'installation d'un *Lavoir public.*

1° Une buanderie, où le linge est lessivé en commun ;

2° Réservoirs d'eau froide;

3° Une chaudière à eau chaude;

4° Un certain nombre de places de laveuses qui se trouvent groupées dans une seule pièce.

La place est occupée par deux baquets ordinairement en bois : l'un pour savonner, l'autre pour rincer. Ils sont le plus souvent alimentés d'eau froide seulement, quelquefois aussi d'eau chaude et d'eau froide. Une stalle complète la place.

Quelques lavoirs possèdent un séchoir à air chaud. Quant aux chambres de repassage, elles n'existent pas dans les lavoirs. Enfin, un

bureau de recette, de contrôle et de surveillance, complète l'établissement.

Quelquefois, les mères qui viennent au lavoir y trouvent une crèche où elles peuvent déposer leurs jeunes enfants, confiés à la surveillance d'une seule personne.

En entrant au lavoir, la ménagère est soumise au tarif qui détermine les prix d'usage des divers appareils; elle vient ensuite occuper la place qu'on lui assigne.

Lorsque la ménagère donne au lavoir un paquet à couler, le couleur y attache un numéro en zinc, mais il n'en remet pas un semblable pour réclamer, il se contente d'annoncer le numéro attaché au paquet, en énonçant la valeur du lessivage dudit paquet, proportionnée à sa grosseur. L'employé du bureau délivre alors un bulletin extrait d'un livre à souche et contenant le numéro du paquet, le nom de la ménagère et le coût du lessivage. C'est sur la remise de ce bulletin acquitté que le couleur remet le paquet lessivé.

Les jetons achetés au bureau du lavoir servent à se faire délivrer de l'eau ou lessive chaude par le buandier.

Les laveuses font dans le même local le savonnage, le rinçage et les autres opérations du lavage; ensuite elles passent aux essoreuses, aux séchoirs et dans les chambres de repassage, en usant de tous les appareils ou seulement de ceux qu'il leur convient d'employer.

Les appareils que nous avons décrits sont presque exclusivement employés dans les lavoirs publics, bateaux-lavoirs; ces établissements pour Paris seulement, ont une importance considérable, puisqu'à eux seuls ils coulent et blanchissent près de 94,000,000 de kilogrammes de linge. Tous les lavoirs publics à Paris sont dus à l'initiative privée; ni la bienfaisance publique, ni les municipalités n'ont fondé des établissements où les pauvres puissent trouver le confort et l'économie. Les lavoirs publics sont exploités par des industriels, qui sans même se conformer aux prescriptions édictées par le conseil d'hygiène, pressurent leur pauvre clientèle, leur mesurent parcimonieusement l'eau, le savon, et leur vendent au détail des produits d'une pureté douteuse.

Les pauvres femmes qui fréquentent ces établissements et qui lavent pour les blanchisseuses, sont exposées, hiver comme été, à la buée alcaline, à une humidité constante et à tous les courants d'air. Leur condition de salubrité laisse beaucoup à désirer.

Dans les centres manufacturiers, où un grand nombre de machines à vapeur rejettent leur eau de condensation dans les ruisseaux, on voit de pauvres mères de famille venir, accroupies sur le trottoir, savonner leurs hardes. Il coûterait si peu à un groupe de philanthropes de canaliser cette eau et de la conduire dans des bassins, de recouvrir l'espace d'une toiture légère et mettre toutes ces pauvres laveuses à l'abri des intempéries des saisons. Le premier essai d'utilisation des eaux de condensation des machines pour lavoir public a été fait par M. de Saint-Léger, à Rouen. J'ignore si cet exemple a été suivi ailleurs. On trouvera dans le rapport sur les bains et lavoirs publics de M. E. Trélat, tous les renseignements sur cet établissement construit par M. de Saint-Léger. En Angleterre, où le gouvernement, après de nombreuses enquêtes, a fait des sacrifices considérables pour établir les bains et lavoirs publics, la question est bien plus avancée au point de vue du confort et de l'hygiène qu'en France.

En Angleterre la redevance pour la classe ouvrière qui fréquente les bains et lavoirs publics, est fixée par une loi. Elle est de 0f,20 par bain chaud (avec serviette) de 2e classe, et 0f,30 pour deux heures pour l'usage des baquets, appareils pour sécher et repasser le linge. Bain froid, 0f,10. En France, les lavoirs publics font payer, comme nous l'avons vu, 0f,05 par heure pour une stalle, en offrant seulement de l'eau froide ; l'eau chaude se paye à part. Quant aux séchoirs à air chaud, essorage ou autres appareils, il n'en existe pas. Malgré le tarif si bas des lavoirs anglais, l'administration confiée à une direction intelligente, y trouve un bénéfice. On encourage par ces établissements les habitudes de propreté dans la classe ouvrière, la santé publique se ressent de ce bienfait, et il serait fort à désirer qu'en France, où l'on s'occupe tant du bien-être du peuple, on encourageât la fondation d'établissements semblables.



Nous avons en ce moment à nous occuper des appareils plus perfectionnés et qui sont d'un usage répandu dans les grandes buanderies industrielles. En première ligne, il faut citer les appareils perfectionnés de MM. Bouillon et Muller, et construits en ce moment par leur successeur M. Piet et Cie, notre collègue. Ces appareils remplissent les conditions

du programme que j'ai déjà eu l'occasion de développer. Le coulage s'opère par affusions intermittentes et à des températures successivement croissantes. Nous avons signalé, en parlant de l'appareil Duvoir et des appareils à ébullition, un défaut capital, qui consiste dans la projection de la lessive bouillante sur du linge froid. MM. Bouillon et Muller ont heureusement résolu la difficulté.

Péclet, dans son *Traité de la chaleur*, fait le plus grand éloge de cet appareil; il dit que toutes les conditions nécessaires à un bon lessivage sont remplies. Pour commencer le coulage, c'est-à-dire la circulation de la lessive à une température ordinaire, ces constructeurs remontent le liquide lixiviel du fond du cuvier à sa surface par une pompe placée latéralement à des petits cuviers, et pour des grands cuviers au centre même du tuyau d'affusion. La chaudière, représentée pl. 143, fig. 4, se compose de deux cloches concentriques avec chauffage intérieur et extérieur. Le tuyau d'affusion, partant de la chaudière, traverse le milieu du cuvier pour se terminer par un champignon; le tuyau de retour part du faux fond pour aboutir à la chaudière. Tous les cuviers sont munis d'un couvercle manœuvré par un treuil.

Marche de l'appareil. — On met le feu sous la chaudière, qui peut être placée sous le cuvier ou bien être complètement séparée de lui et en alimenter une ou deux autres. Depuis quelque temps on a renoncé à desservir deux cuviers par une seule chaudière, à cause des robinets. Tous les quarts d'heure on fait mouvoir la pompe à la main ou par une transmission, afin de projeter la lessive tiède sur la surface du cuvier. Pour une charge de 1000 kilos de linge l'opération du coulage dure six heures, et la pompe doit fonctionner deux à trois heures, jusqu'à ce que la température du liquide lixiviel dans la chaudière ait atteint 60°. A ce moment, la circulation s'établit par elle-même par intermittence. L'avantage de ce genre d'appareil est de produire un coulage rationnel, de ne pas diminuer par les condensations de vapeur le degré alcalimétrique de la lessive, de ne pas recuire les taches du linge. Mais, à côté de ces qualités, il y a un inconvénient, qui consiste dans la manœuvre incessante de la pompe pendant la moitié du coulage. Il faut supposer un chauffeur assez attentif et soigneux pour entretenir la pompe en bon état, s'occuper de son feu qui se trouve dans le sous-sol, et remonter tous les quarts d'heure dans l'atelier pour faire mouvoir la pompe, ou dans le cas où on dispose d'une force, la

pompe est manœuvrée par une transmission. Ce système, très séduisant en apparence, a joui d'une certaine vogue dans les grandes installations industrielles. L'administration de l'Assistance publique de Paris emploie exclusivement les appareils Bouillon-Muller, dans les grandes usines de blanchissage créées depuis quelques années, dans la blanchisserie de Courcelles par exemple, où notre ancien et éminent président, M. Flachat, sans avoir au préalable les connaissances spéciales dans la blanchisserie, avec son génie d'assimilation et après des études où les précédents faisaient complètement défaut, a su installer un des plus beaux établissements de buanderie. A Courcelles, les appareils Bouillon et Muller primitivement installés ont dû céder leur place à d'autres plus perfectionnés, ou plutôt qui n'ont pas le défaut reproché à ce dernier. L'administration des Lits militaires, dans son usine, à Grenelle, et dans les quatre installations en province (Amiens, Lyon, Marseille et Toulouse), où elle blanchit mécaniquement, n'a pas adopté les appareils en question. M. Piet, pour répondre aux objections faites sur l'emploi de la pompe lorsqu'on ne dispose pas de points de suspension ni de moteur pour la faire marcher, a trouvé un appareil utilisant la pression de l'eau destinée au lavage pour élever la lessive avant qu'elle ne soit arrivée à la température de 60°, température à laquelle l'affusion se fait naturellement.

Cet appareil, représenté par la fig. 7, pl. 143, se compose de deux récipients clos, munis de soupapes, l'un, moteur, placé plus haut que les bassins ou réservoirs de rinçage; l'autre, placé dans le cuvier, à la partie inférieure du tuyau central d'ascension. Le premier, par un mouvement de bascule déterminé par le poids de l'eau, se remplit et se vide alternativement et communique à la lessive, dans le récipient du cuvier, un mouvement inverse par l'intermédiaire de l'air alternativement refoulé sous la pression de l'eau et aspiré lors du vidage.

L'eau, au sortir du récipient moteur, s'écoule dans un réservoir ou directement dans les bassins de rinçage, où elle est utilisée après avoir perdu l'excès de pression dû à la hauteur du réservoir d'alimentation au récipient appelé moteur.

Le croquis de la disposition de cet appareil en fera mieux comprendre le jeu qu'une longue description.

Cet ingénieux appareil présente à nos yeux quelques défauts. Il assujettit par son fonctionnement le débit de l'eau de rinçage, qui doit être indépendant du coulage. Il arrive en effet souvent qu'on coule

au moment où l'eau des bassins du rinçage n'a plus besoin d'être renouvelée. Dans une grande buanderie, où il y a dix à douze cuviers en marche, il faudrait avoir autant d'appareils que de cuviers, ce qui entraînerait à de grands frais d'établissement, ou bien avoir un seul grand appareil pour tous les cuviers et courir le danger de voir, en cas d'un accident, s'arrêter toute l'usine. L'appareil projette dans la lessive de l'air comprimé froid et humide, ce qui doit avoir pour conséquence le refroidissement de la lessive.

Cet appareil est une des solutions de la question, mais ses dispositions n'ont pas résolu complètement les difficultés. Le champ reste ouvert aux chercheurs.

Les hôpitaux de Lyon ont créé tout nouvellement une buanderie centrale exclusivement réservée au linge des hôpitaux; les blanchisseries de Nice, Monaco et Bordeaux sont d'une création récente. Tous ces établissements ont adopté les appareils à circulation de Decoudun.

Le motif de cette défaveur des appareils Bouillon et Muller ne réside que dans l'emploi de la pompe dont nous avons parlé et non dans son excellent système de coulage. Si on exclut les appareils Bouillon et Muller des grandes buanderies qui ont des générateurs à vapeur, on peut recommander d'une manière spéciale leur emploi dans de petites installations. M. Piet livre au commerce des cuviers avec leur fourneau portatif, qui sont fort appréciés dans les petites buanderies. Ce constructeur fabrique des lessiveuses de dix grandeurs différentes, d'une contenance de 20 jusqu'à 350 kilogrammes de linge pesé sec. Elles sont portatives ou fixes. Le dessin (fig. 4, pl. 143) représente un appareil de lessive portative dont les dimensions variables peuvent contenir de 200 à 300 kilogrammes de linge. Les dimensions, capacités et prix sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Poids du linge	200ks	250ks	300ks	350ks
Diamètre du cuvier	1.10	1.20	1.34	1.45
Hauteur de l'appareil	1.73	1.75	1.75	1.76
Poids de l'appareil	480ks	560ks	660ks	700ks
Prix de l'appareil avec cuvier en bois	480f	560f	640f	680f

L'appareil se compose d'un cuvier en bois blanc ou en tôle galvanisée,

ou bien en fonte à fond à claire-voie. Au centre se trouve un tuyau d'affusion contenant un piston mû extérieurement par une chaîne guidée par deux poulies de renvoi. Le cuvier dont le fond est en fonte surmonte une chaudière annulaire en même métal à foyer intérieur. Un couvercle recouvre le cuvier. Le chargement et la conduite de l'appareil sont analogues à ceux décrits précédemment pour les grands appareils Bouillon et Muller.

Notre collègue, M Salvetat, dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures* de Laboulaye, après avoir fait le plus grand éloge des appareils Bouillon et Muller, éloge qui était à cette époque justifié (1854), nous donne le prix de revient du blanchissage avec les appareils employés à l'hospice de la Salpêtrière, soit 0f,06 par kilogramme de linge, et il prétend que cette opération confiée à l'industrie privée serait revenue à 0f,16 le kilogramme. Sans entrer dans le détail des prix de revient, on peut *a priori* mettre en doute le prix si bas.

Nous lui opposerons quelques chiffres que nous avons eu l'occasion de recueillir nous-même. Ainsi, à Lyon, le prix de revient du blanchissage pour l'année 1874 à l'hôpital de l'Hôtel-Dieu, était, pour 292,711 kilogrammes de linge, 26,636 francs, soit 0,091 le kilogramme. A un autre hôpital « Antiquaille de Lyon, » pour la même année, pour 296,955 kilogrammes de linge, 27,590 francs, soit 0,092 le kilogramme. Dans les grands hôpitaux, aussi bien à Paris qu'ailleurs, le Conseil vote un budget pour chaque service. — Si on divise ces dépenses prévues par le poids du linge, on aura un prix de revient brut auquel il faut, pour le comparer à un prix de revient industriel, ajouter beaucoup d'autres choses, savoir : intérêt du capital de premier établissement, amortissement et entretien du matériel, frais généraux, etc. — Je doute que M. Salvetat ait tenu compte de tous ces frais, pas plus qu'il n'a pris en considération le personnel à l'année occupé à la Salpêtrière et qui est payé sur les frais généraux de l'hospice. — Le prix de revient du blanchissage de l'Assistance publique doit être d'autant plus élevé, qu'une foule d'opérations sont faites à la main et non par des machines, et que les buanderies disséminées dans 16 locaux doivent nécessairement entraîner à plus de frais qu'un grand établissement central, installé industriellement. — En moyenne, malgré la modicité du salaire, le prix de revient du blanchissage dans les hôpitaux de Paris ne doit pas être au-dessous de 0f,10 par kilogramme. — Le jour où l'Assistance publique se décidera à centraliser le service de blanchisserie, à

adopter les machines nouvelles, non seulement elle fera descendre le prix de revient du linge à 8 et même à 7 centimes le kilogramme, mais elle trouvera dans la durée plus longue de son linge une économie considérable. — Dans les autres établissements les prix de revient sont variables suivant la nature du linge, ils varient dans les limites de 7 à 15 centimes *le kilog.*

Nous donnons ci-dessous le prix de revient du blanchissage d'une grande buanderie installée avec les derniers perfectionnements.

Par 100 kilogrammes de linge.

Main-d'œuvre.	6f.00
Combustible.	1 .50
Produits chimiques.	1 .50
Eau.	0 .50
Gaz, transports et dépenses diverses.	0 .50
Frais généraux.	1 .50
Entretien et réparations.	0 .50
Total.	12f.00

Revenant aux appareils Bouillon et Muller, nous voyons que l'emploi de la pompe pour obtenir des affusions à des températures graduellement élevées n'est pas nouveau. John Laurie de Glascow, perfectionnant l'appareil de Bardel, a adopté la disposition suivante : Le cuvier à lessive se trouve placé sur la chaudière contenant le liquide alcalin; une pompe mise latéralement prend la lessive du fond de la chaudière et la verse tiède sur le cuvier; on fait mouvoir la pompe jusqu'à ce que la tension de la vapeur formée dans la chaudière soit assez forte pour soulever la soupape d'aspiration de la pompe et pour déverser la lessive automatiquement sur le haut du cuvier. A ce moment la circulation s'établit et le coulage est continu. Cet appareil marche avec une régularité remarquable et réalise sur le coulage ordinaire une économie de 25 p. 100. On lui reproche comme aux appareils Bouillon et Muller la manœuvre de la pompe et que la circulation ne s'établit d'elle-même que quand la température a atteint 100°.

Évidemment Bouillon et Muller se sont inspirés de l'idée de John Laurie en perfectionnant le foyer et le mode de circulation de la lessive.

C'est à tort qu'on reproche aux appareils à circulation de faire repasser la lessive sale et brune sur tout le linge. La lessive en traver-

sant le linge saponifie les corps gras et forme un savon soluble; donc la lessive brune qu'on fait repasser n'est pas un liquide sale ou gras, mais bien une dissolution savonneuse qui partira au premier rinçage.

Nous arrivons en ce moment aux appareils généralement employés dans les grandes buanderies. M. Decoudun, s'appuyant sur les perfectionnements apportés au blanchissage par ses devanciers, a eu l'idée d'établir la circulation de la lessive en utilisant la force de propulsion de la vapeur. — Le cuvier en bois, tôle ou fonte (fig. 1, pl. 146), contient comme les autres cuviers un grillage en bois ou en métal, sur lequel le linge est régulièrement tassé. Le fond du cuvier, légèrement conique, a au centre une calotte en fonte qui recueille le liquide lixiviel. — Au milieu de cette calotte se trouve un tuyau de vapeur qui se termine par un ajutage de 8 millimètres de diamètre intérieur pour les cuves de 2^{m},30 de section (contenance 1000 kilog. de linge pesé sec), ce petit tuyau rentre dans le tuyau d'affusion d'un diamètre plus grand.

Le tuyau d'affusion se termine par deux branches horizontales qui fonctionnent à la manière d'un tourniquet hydraulique par la réaction de la poussée du liquide sur la partie opposée aux petits orifices d'échappement. La vapeur agit comme dans l'injecteur Giffard en entraînant, tout en réchauffant, la lessive et la déversant régulièrement sur toute la surface du cuvier.

Pour le lessivage d'une cuve de 1000 kilog. de linge, on compte généralement 120 kilog. de combustible, soit 12 pour cent et de 15 à 20 kilog. de sel de soude. — Au commencement de l'opération la température de la lessive déversée est de 25°, au bout de trois heures elle est de 75° et à la fin 90 à 95°. La lessive marque à l'aréomètre Baumé successivement 4°, 2 1/2 et 0°. On voit que cet appareil a le défaut d'introduire dans la lessive l'eau de condensation de la vapeur et d'en diminuer par conséquent le degré alcalimétrique. Pour y remédier on fait la dissolution du sel de soude à 4°, ce qui n'est pas nuisible au linge, à la température à laquelle la lessive est projetée au commencement de l'opération.

Ces appareils seront encore exclusivement employés dans les buanderies industrielles jusqu'au jour où d'autres plus perfectionnés prendront leur place.

Les cuviers sont faits de douves de sapin cerclés de fer (établis à l'usine de Grenelle), comme le montre la fig. 1, pl. 143, quel-

quefois les cuves sont en fonte d'une seule pièce comme à la blanchisserie de Courcelles. Le prix de la cuve d'une contenance de 1000 kilog. de linge, soit 2^{m},30 de diamètre en tôle rivée avec l'appareil Decoudun, est de 750 francs. Celle en fonte de la même contenance, est de 850 francs. Le couvercle en tôle galvanisée avec poulies, chaîne et treuil revient à 350 francs.

Coulage mécanique. — Le coulage mécanique a été adopté sur une grande échelle en Angleterre. Cette opération a pour avantage d'être très expéditive. Elle expose le linge successivement par la rotation à l'action de la lessive et de la vapeur. — C'est plutôt un savonnage qu'on obtient qu'un coulage proprement dit; on y blanchit du linge peu sale. Pour produire un coulage complet, c'est-à-dire une saponification des matières grasses, il faudrait au moins deux à trois heures, et dans ce cas l'opération nécessiterait une grande quantité de vapeur et de lessive et reviendrait plus chère que le coulage dans un cuvier ordinaire. Le savonnage est favorisé par le frottement continuel du linge contre lui-même et contre les parois de l'appareil.

Ces appareils, de forme et de grandeurs fort différentes, connus en Angleterre sous le nom de *dash-wheel*, sont employés en France où on les appelle *Roues américaines*.

La roue américaine, représentée par les fig. 4, 5, 6, 7 et 8, pl. 144, se compose d'un tambour à axe horizontal en cuivre rouge de 1^{m},830 de diamètre et 0^{m},820 de largeur, divisé par deux cloisons en quatre compartiments, fermés chacun par une porte latérale. C'est dans ces compartiments que le linge à blanchir est introduit. A chaque compartiment correspondent une crépine et une noria, cette dernière puise l'eau savonneuse et la déverse sur le linge. Le tambour est enfermé dans une boîte circulaire en tôle, dans laquelle se trouve une porte de chargement à la partie inférieure. Trois robinets sont adaptés à l'enveloppe : un pour introduire la vapeur dans l'intérieur, l'autre pour amener l'eau nécessaire pour dissoudre le savon et le sel de soude, et enfin le troisième robinet sert pour la vidange de la lessive usée.

Le mouvement est donné par poulie.

Pour charger et décharger on débraie la poulie et avec une vis sans fin et une roue qu'on manœuvre à la main, on fait tourner le tambour chaque fois d'un quart de tour, afin de présenter les deux portes en regard l'une de l'autre. Quand le chargement est complet on débraie la

vis sans fin en embrayant la poulie. Le tambour, dans les quatre compartiments, peut contenir 120 chemises ou 72 kilog. de linge. Son débit pour une journée de travail est environ 1000 kilog. de linge. — La durée de l'opération est de 25 minutes, chargement et déchargement compris. — La vitesse de rotation est de 28 à 30 tours à la minute. Ce tambour consomme par jour 11,000 litres d'eau, soit 11 kilog. d'eau par kilog. de linge. — Le poids de l'appareil est de 1,100 kilog. son prix de 4,800 francs.

Peclet, dans son *Traité de la chaleur*, rend compte d'un appareil exposé en 1855 par Lejeune, l'appareil est fort compliqué et il n'a pas reçu d'application.

Coulage à vapeur. — Tous les appareils qui faisaient le coulage à la vapeur ont été abandonnés dans les grandes buanderies; ils n'ont donc qu'un intérêt rétrospectif, nous les passerons rapidement en revue en indiquant sommairement la cause de leur abandon.

Les hommes qui, au commencement de ce siècle, se sont occupés de la propagation de l'idée du coulage à vapeur sont Cadet de Vaux, Curandeau, Chaptal et tant d'autres. L'opération s'exécute dans une chaudière contenant de l'eau pure et surmontée d'une cuvier rempli de linge préalablement *imprégné* de lessive et disposé de façon à ce que la vapeur puisse facilement le traverser. La vapeur formée dans la chaudière échauffe le linge, s'y condense en entraînant la lessive qu'il contient, et au bout de quelque temps, quand le linge est dépourvu de cette lessive l'opération est considérée comme terminée. Ces appareils ont au commencement séduit tout le monde par leur simplicité, mais on a bien vite reconnu que le contact brusque de la vapeur sur le linge crispe le tissu et accélère beaucoup la détérioration; ces appareils sont maintenant complètement abandonnés. On continue d'en fabriquer pour l'économie domestique d'après le système de M. le baron Bourgnan de Layre, et on les trouve dans le commerce à des prix suivants :

Poids du linge.	Contenance de la lessiveuse.	Prix de la lessiveuse en tôle galvanisée.
15 kil.	65 litres.	65 fr.
30	125	105
65	304	200
120	669	320

Dans une grande buanderie ces appareils doivent être rejetés d'une manière absolue.

Nous citerons à l'appui de notre opinion celle bien plus compétente de M. Herpin, sur le coulage à vapeur, il dit : « Par défaut de précaution « les issues peuvent n'être pas suffisamment ménagées à la vapeur, dont « la tension s'élève et qui peut acquérir une température suffisante pour « altérer le linge, on remarque en effet que le linge blanchi de cette ma- « nière laisse échapper, lors du pliage, une poussière subtile qui incom- « mode beaucoup les plieuses et provoque chez elles une toux très fati- « gante et presque continuelle. On attribue cette poussière à des « parcelles d'alcali qui seraient demeurées adhérentes au linge et qui « s'en détachent par le mouvement et les secousses qu'on lui imprime « en le ployant. Peut-être sont-ce des parcelles du tissu lui-même. »

Je suis d'avis de cette dernière assertion ; quand on regarde attentivement le tissu, on voit qu'il est rempli de petits filaments courts, plucheux qui se détachent par le frottement. J'ai eu l'occasion de remarquer la même poussière dont parle M. Herpin, provoquant une toux continuelle dans les salles de pliage des hôpitaux de l'Assistance publique.

Je ne crois pas que ce soient les appareils de coulage Bouillon et Muller qui occasionnent la formation de ces poussières, ce sont plutôt les manipulations, comme brossage, froissage et battage, auxquelles le linge est soumis, qui usent, coupent et effilochent sa fibre.

Nous citerons pour mémoire les appareils du système Sol et de la Meilleraye, décrits dans tous les Traités et principalement dans le Traité de Blanchiment et Blanchissage de Rouget de l'Isle (*Manuel Roret*). Ils s'approchent beaucoup comme construction et opérations des roues américaines décrites plus haut.

Savonnage. — On emploie dans quelques grandes buanderies, dans les lavoirs et même dans les ménages, des appareils destinés à savonner le linge après le coulage, il serait intéressant de les décrire. — Chaque constructeur a son genre d'appareil, nous passerons en revue les types principaux :

1° Aide-laveuse de MM. Bouillon et Muller, à mouvement direct ou à mouvement rotatif. L'aide-laveuse se compose d'un bac ovale, en bois, de dimensions variables ; deux parois verticales à claire-voie avec un fond plein sont posées dans ce bac. Un compresseur, également à

claire-voie et ayant un axe supérieur se meut dans l'intérieur entre les deux grilles, contre lesquelles il vient alternativement s'appliquer, en décrivant une courbe calculée. Une eau savonneuse ou alcaline, toujours chaude, remplit l'appareil jusqu'à un niveau déterminé. Suivant la dimension de la machine, 3 à 6 kilogrammes de linge y sont placés de chaque côté du compresseur et celui-ci par un mouvement de va-et-vient qui lui est communiqué agit successivement et en sens inverse sur chacun des paquets soumis à son action. Tantôt il comprime le linge sur la grille, tantôt en s'écartant, il le retourne et l'étale. Après une durée de 5 à 6 minutes, les pièces sont suffisamment savonnées. Chaque partie du linge se trouvant ainsi attaquée isolément et dans des conditions diverses est débarrassée de tous les corps saponifiés. Une machine à peu près semblable, mais d'une construction plus mécanique est employée en Allemagne dans quelques buanderies industrielles, du reste fort rares dans ce pays. — Cette machine représentée par les fig. 3 et 4, pl. 146, se compose d'une boîte en bois dans laquelle se meut un foulon actionné par une bielle et une manivelle, le linge est chargé par une porte et déchargé par le côté opposé, la manœuvre est à peu près semblable à celle de la laveuse de Bouillon et Muller. La machine est construite par Oscar Schimmel et Cie, à Chemnitz. En France elle est complètement inconnue. Ces deux types de savonneuse ou aide-laveuse ont l'inconvénient, par des froissements brusques du linge contre des corps durs, de provoquer une usure prématurée des toiles;

2° Des boîtes à laver et à savonner.

Ces appareils peuvent se partager en deux classes, savoir :

a. Des boîtes fermées.

b. Des boîtes ouvertes.

Boîtes à laver fermées. — Ces appareils sont exclusivement employés dans les ménages et dans de petites installations. Les types principaux sont de *Bradford*, de Eastwood, à Preston et de Piet et Cie. Le premier système, fort employé en Angleterre et dont l'usage tend à se répandre en France, est soigneusement construit et porte sur le dessus du châssis une essoreuse à cylindre. Les machines à laver avec ou sans couvercle sont construites sur le même principe. Le linge dans la rotation de l'appareil ne doit pas rouler sur lui-même, mais bien, une fois remonté par une cloison, retomber de toute sa hauteur sur le fond, le contact

continuel du linge battu avec de l'eau de savon favorise singulièrement l'opération. Pour empêcher le roulement du linge on dispose dans l'intérieur de la boîte des tasseaux faisant office de chicane.

Les boîtes à laver système Bradford varient de prix suivant leur grandeur.

Pour	12	chemises	100 fr.
—	20	—	160 fr.
—	50	—	1250 fr.
—	130 à 150		2500 fr.

Les roues à laver construites par MM. Piet et Cie se vendent aux prix suivants :

Roue ronde en tôle galvanisée ou en bois, de 1 mètre de diamètre et 0^m 58 de largeur, pour 400 kilog. de linge par jour avec bâti en fonte . . . . 500 fr.

Roues à cinq pans en tôle galvanisée ou en bois, de 1 mètre de diamètre et 0.70 de largeur, pour 600 kilog. de linge . . . . 550 fr.

De 1^m20 de diamètre et 0.80 de largeur, pour 1,000 kilog. 780 fr.

Boîtes à laver ouvertes. — Celles qui sont le plus répandues dans l'industrie sont construites par MM. Decoudun et Cie, leur construction intérieure comme le montre le dessin est analogue aux boîtes précédemment décrites.

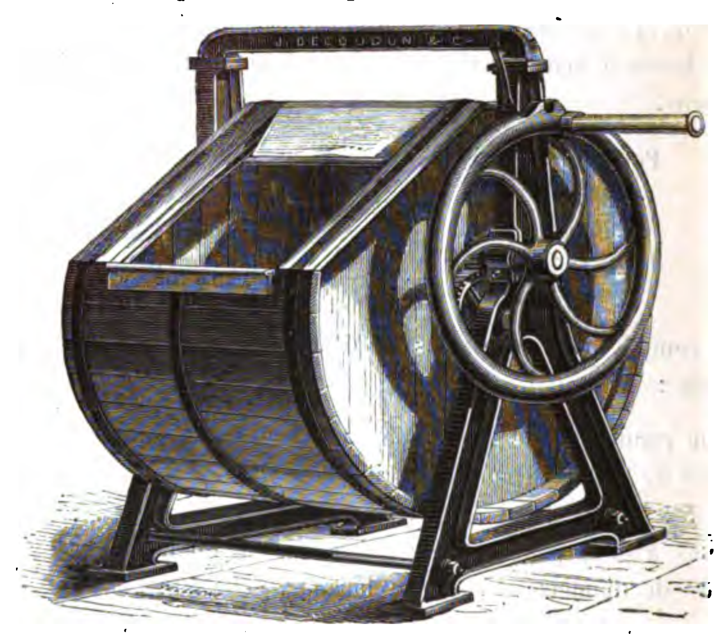
Les prix sont variables suivant la grandeur et le mode de transmission de mouvement :

Machine à balancier	120 fr.
Machine à laver à manivelle	300 fr.
id. id. à volant	350 fr.

Ces machines ont pour avantage de ne pas avoir de couvercle, dont la fermeture n'est jamais bien étanche et qui laisse toujours filtrer de la lessive.

Tous les appareils ci-dessus décrits trouvent leur place dans les buanderies de peu d'importance et rendent de grands services dans les ménages, en simplifiant l'opération. Ils sont aussi employés dans les

hôpitaux pour le linge à pansement, qui est la cause d'accidents graves pour les ouvrières qui font cette opération à la main.



La boîte à laver fonctionnant à bras n'offre pas sensiblement d'avantages par cette raison, c'est que l'ouvrier chargé de la conduire se fatigue promptement et qu'il tourne ensuite machinalement sans s'inquiéter si la vitesse est suffisante pour que le linge soit projeté contre les parois avec assez de force pour obtenir un résultat sérieux. Car il faut bien le remarquer, une boîte à laver qui ne fait pas au minimum 18 tours roulera le linge sur lui-même au point que l'eau ne pourra plus pénétrer dans les pièces qui se trouvent à l'intérieur de ce rouleau.

3° ***Tonneaux laveurs.***—Ces appareils exclusivement employés dans les grandes buanderies sont de deux types différents.

a. Tonneau à chargement continu.

b. Tonneau à chargement alternatif.

Dans ces appareils on exécute indifféremment le savonnage, le lavage et le rinçage.

Dans les ménages, le lavage le plus usité consiste à savonner et à rincer en même temps le linge dans une eau froide et courante. Nous verrons que ce mode de procéder est vicieux. En effet ; le linge, après le coulage prolongé où la température élevée, l'alcali et l'eau ont gonflé

la fibre du tissu, est bien préparé pour abandonner dans l'eau les impuretés qu'il retient. Mais plongée brusquement dans l'eau froide la fibre du tissu se resserre, n'abandonne plus ni au savonnage ni au battage ni au brossage les impuretés qu'elle contient.

Il est essentiel de savonner et de laver le linge toujours *dans l'eau chaude* et de le rincer à l'eau froide.—Les appareils à laver à chargement continu employés dans les usines, connus sous le nom de *tambours* représentés par les fig. 1, 2 et 3, pl. 144, se composent d'un prisme octogonal en tôle de $1^{m},220$ de côté et de $2^{m}500$ de longueur à pans coupés légèrement inclinés, soutenus et guidés d'un côté par trois galets et de l'autre côté portant un tourillon fixé dans un palier. Dans l'intérieur du tonneau se trouvent seize barres en bois blanc boulonnées contre ses parois. Une poulie en fonte en deux pièces boulonnées donne le mouvement au tonneau.

Le linge est introduit par un entonnoir, il parcourt le tonneau constamment aspergé par l'eau et ressort par le côté le plus bas. On construit aussi des tonneaux pareils en bois, mais ils s'imprègnent d'eau et sont presque aussi lourds que ceux en tôle sans avoir la même durée.

Plusieurs constructeurs fournissent ces appareils au prix de 3000 à 3500 francs. Le tonneau complet avec support pèse environ 3200 kilogrammes; il tourne à une vitesse de 25 tours par minute, et débite, par jour de 11 heures de travail, 5000 kilogrammes de linge, et consomme 5 litres d'eau chaude à 30 degrés par kilogramme de linge ou 27 mètres cubes par jour. Pour le rinçage à l'eau froide, le tonneau débite la même quantité de linge, mais il consomme, par journée de 11 heures, 50 mètres cubes d'eau, soit 10 litres d'eau par kilogramme de linge.

La vitesse de rotation du tonneau a une certaine influence sur le bon lavage. Si on augmente trop celle-là, le linge, par suite de la force centrifuge, reste attaché contre les parois et ne retombe pas. Dans le cas où on vient diminuer beaucoup cette vitesse, l'eau de lavage ne rejaillira pas en pluie fine sur le linge, et, suivant la pente du tonneau, s'écoulera sans produire d'effet utile, et le linge se roule en paquet sans se laver ni se rincer. Ces tonneaux laveurs et rinceurs sont employés dans les buanderies appartenant à la Compagnie des lits militaires et dans la blanchisserie de Courcelles. Dans ce dernier établissement, on a perfectionné davantage le système en vue d'économiser la main-d'œuvre. On a réuni le tonneau laveur au tonneau rinceur par une chaîne sans fin composée de baguettes en fer entourées de tubes en

cuivre. Le linge projeté dans l'entonnoir du tonneau laveur est ramassé au sortir de ce dernier par la chaîne et conduit au tonneau rinceur, puis jeté par une chaîne analogue directement au chariot. Par suite de cette disposition, au lieu de six ouvriers, deux suffisent.

Dans les nouvelles installations faites à Lyon pour le compte des hôpitaux, à Bordeaux, à Monaco, on a construit pour le lavage et le rinçage du linge des tonneaux ouverts latéralement et dont le travail est *alternatif*.

Ces appareils, représentés par les fig. 5 et 6, pl. 143, construits par M. Decoudun et Cie, sont analogues à ceux déjà décrits; le mécanisme seul est différent. Ils se composent d'un cylindre horizontal en bois ou en cuivre, ouvert suivant la génératrice, ayant dans l'intérieur une cloison partant de l'échancrure et se dirigeant vers le centre du cylindre. Le cylindre porte deux tourillons fixés dans deux paliers en fonte; ces tourillons sont creux, et l'un d'eux communique à un réservoir contenant l'eau savonneuse et de la lessive pour les machines à laver, et de l'eau pure pour les machines à rincer.

Pour empêcher le linge de rouler sur lui-même dans le cylindre, on fixe des tasseaux dans l'intérieur.

Quand le linge est introduit par l'échancrure, on embraie la poulie donnant le mouvement dans un sens déterminé, on ouvre le robinet qui donne accès à l'eau savonneuse ou à l'eau pure, et le linge, toujours en contact avec un liquide très divisé, se met en mouvement, retombe deux fois par rotation du cylindre contre ses parois et, au bout de 10 à 15 minutes, l'opération est terminée. On met la courroie sur la poulie folle et on change le sens de rotation de la machine. Le linge retombe par l'échancrure dans un chariot à claire-voie, et l'eau savonneuse regagne l'égout. On voit, en examinant attentivement le mouvement de la machine, que le linge une fois blotti dans le coin formé par la cloison, reste stationnaire jusqu'au moment où cette dernière, par la rotation du tonneau, devient verticale; c'est alors seulement que le linge retombe. Le temps pendant lequel le linge est immobile est environ le tiers de la circonférence.

En comparant le tonneau rinceur à cette dernière machine, nous voyons que l'appareil Decoudun est d'un chargement discontinu, de là une perte de temps, et, d'un autre côté, un tiers de la rotation du cylindre est sans effet utile sur le linge; ce dernier défaut est commun pour les tonneaux rinceurs, car le temps que met le linge à remonter la demi-

circonférence n'est pas utilisé pour le rinçage. Ce constructeur a perfectionné dernièrement ce mécanisme du changement de marche en faisant des embrayages à friction.

Les prix de ces appareils sont :

Longueur du tonneau.	Désignation.	Matières.	Prix.
1m.20	Tonneau à laver.	En bois.......	1600 fr.
1 .20	Tonneau à rincer... ..	En bois.......	1700
1 .20	Tonneau à laver.. ...	En cuivre rouge.	2600
1 .20	Tonneau à rincer.	En cuivre rouge.	2700
2 .00	Tonneau à laver... ..	En bois.......	3200
2 .00	Tonneau à rincer......	En bois.......	3350
2 .00	Tonneau à laver.. ...	En cuivre......	4450

Rinçage. — Le rinçage a pour but d'enlever toutes les parties solubles et savonneuses retenues par le linge, il se fait de préférence à l'eau de puits qui convient mieux aussi pour le passage au bleu. L'eau de puits qui tient en dissolution des sulfates et carbonates de chaux, décompose le savon qui monte à la surface du liquide et n'en trouble pas la partie inférieure. Cette eau étend régulièrement le bleu, tandis que l'eau de rivière *pique le blanc*, c'est-à-dire occasionne de petits points bleus qui donnent un aspect sale au linge. Si l'on n'a pas d'eau de puits à sa disposition, il suffira d'ajouter à l'eau douce, pour le rinçage, une petite quantité de sulfate de chaux, on agira de même pour l'eau d'azurage.

Les appareils qui servent au rinçage dans les grandes blanchisseries sont les mêmes qu'on emploie au lavage. Dans les 6 buanderies de l'Assistance publique, on utilise quelquefois la main-d'œuvre des pensionnaires; ainsi, dans la buanderie de la Vieillesse (hommes), à Bicêtre, une partie du travail est exécutée par les fous qu'on paie 40 centimes par jour; à la buanderie de la Vieillesse (femmes), à la Salpêtrière, ce sont encore des aliénées qui aident le personnel, moyennant une rétribution de 30 centimes par jour. A l'Hospice des Enfants assistés, ce sont des nourrices qui attendent leur nourrisson, qu'on utilise. Dans ces conditions, l'administration ayant à sa disposition une main-

d'œuvre à bas prix, ne s'est pas préoccupée d'installer des machines spéciales pour le rinçage du linge. Elle fait exécuter ce travail dans de grands bassins cubant environ de 15 à 20 mètres, en briques enduites intérieurement et extérieurement de ciment. Le bassin est généralement partagé par une cloison également cimentée, en deux compartiments : l'un sert au rinçage à l'eau, et l'autre au lavage à l'eau chaude. Cette dernière est chauffée, soit par un barbotteur de vapeur, soit par un appareil utilisant la chaleur perdue des cuviers Bouillon-Muller. Ce système de rinçage de linge dans les bassins est d'autant plus déplorable que le linge qu'il s'agit de traiter est destiné à des malades, et il ne faut pas oublier que, même avec un robinet qui alimente constamment et un trop-plein d'évacuation, une grande partie des matières qui se détachent du linge restent en suspension dans l'eau. Le linge est donc toujours en contact avec de l'eau sale. Dans les épidémies où les cryptogames, les vibrions et bactéries étudiés par M. Pasteur, sont les causes premières de la contagion, la propreté et la désinfection du linge des hôpitaux doivent être les questions les plus importantes pour l'hygiène et la salubrité. Je doute que le rinçage fait dans ces conditions remplisse le but qu'on se propose.

C'est au moment du lavage à la main que l'ouvrière recherche les taches qui ont pu échapper au coulage et qu'elle se livre sur le linge à des opérations fort préjudiciables à sa conservation. Après avoir passé un morceau de savon sur le linge, elle le froisse à la main, puis le tord violemment, l'appuie sur une planche, et avec un battoir en bois de hêtre, elle frappe à tour de bras pour exprimer l'eau savonneuse. Si les taches résistent encore, elle a recours aux ingrédients chimiques. En première ligne, il faut citer l'*eau de Javel*, l'ennemi mortel du linge, contenant souvent du chlorure de chaux. Il est très important de n'employer que de l'eau de Javel à base de soude, préparée à l'aide du manganèse et complètement exempte de chlorure de chaux. Ce dernier est un agent très actif de blanchiment, mais il détériore le linge.

Le chlore n'est jamais complètement éliminé par le rinçage et il reste dans le tissu où il continue son œuvre de destruction. L'emploi de l'eau de Javel ne serait pas si pernicieux si on pouvait faire disparaître les dernières traces du chlore par l'hyposulfite de soude, par exemple; mais, dans la pratique, il n'en est pas de même.

Dans les grands établissements où on a souci de la conservation de son propre linge, on exclut d'une manière absolue l'emploi de l'eau de

Javel. Pour faire disparaître des taches de fer, on peut employer de l'acide oxalique ou de l'acide chlorhydrique très étendu d'eau, et avoir soin de neutraliser l'action de ces acides, après disparition de la tache, par un bain alcalin. Les taches de nitrate d'argent s'enlèvent par les cyanures; mais l'emploi de ce moyen ne peut pas être mis à la disposition des ouvrières.

Parmi les moyens violents dont se servent les laveuses, il ne faut pas oublier le brossage. Elles tendent le linge à plat sur une planche, trempent la brosse de chiendent dans l'eau et brossent violemment jusqu'à ce que la tache ait disparu.

L'effet de cette détestable pratique est de désagréger les fibres du tissu et de diminuer par cela même la durée du linge. — La poussière ténue qui se forme au moment du pliage et constatée plus haut dans un rapport de M. Herpin et dans les salles de l'Assistance publique provient de toutes ces opérations.

Le linge de couleur ne doit pas être lessivé. On le blanchit de la façon suivante : Après l'avoir essangé dans de l'eau tiède légèrement alcaline, on le savonne dans de l'eau tiède également alcaline et on rince comme d'habitude dans l'eau froide et courante. On doit procéder d'une façon analogue pour les lainages, flanelles blanches ou de couleur.

Le linge de couleur bon teint peut parfaitement être lessivé, seulement il ne faut jamais le soumettre à une lessive *crue* c'est-à-dire à une lessive qui débute, il faut qu'elle ait servi déjà deux à trois heures environ. Le linge de couleur coulé subit ensuite les mêmes opérations de lavage, rinçage, que le linge blanc.

Au sortir du tonneau rinceur ou du rinçage à la main, le linge est transporté dans les essoreuses au moyen de voitures tricycles à claire-voie pour être débarrassé de la plus grande quantité d'eau qui l'imbibe. Il y a trois méthodes différentes pour extraire l'eau du linge :

1° La torsion;
2° La pression;
3° La force centrifuge.

Nous passerons en revue les appareils employés pour arriver à éliminer l'eau.

1° ***Torsion***. — Dans les ménages et les buanderies qui ne disposent

d'aucun outillage, l'opération s'exécute à la main en tordant le linge. C'est une pratique pénible, longue, altérant le tissu, et qui tout en revenant le plus cher laisse le plus d'eau.

Nous trouvons dans un compte rendu, déjà ancien, de la Société d'encouragement, un travail de M. Rouget de Lisle nous donnant les proportions d'eau que les différents tissus retiennent après trois opérations, savoir :

DÉSIGNATION.	Flanelle.	Calicot.	Soie.	Toile de lin.
Après le tordage......	2	1	0.95	0.75
Après la presse.......	1	0.60	0.50	0.40
Après l'essorage......	0.60	0.35	0.30	0.25

Dans la pratique les essoreuses laissent dans le lin 30 à 40 °/₀ d'eau.

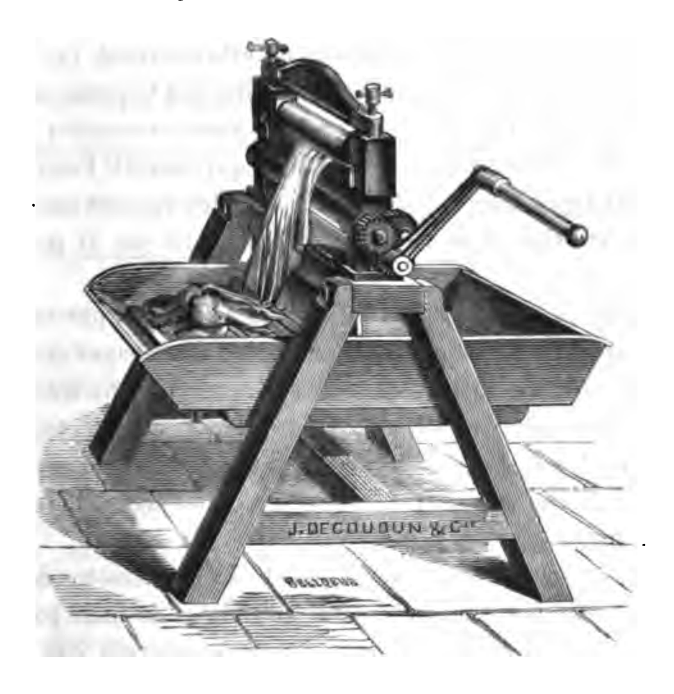
Nous voyons, d'après ce tableau, que le linge de coton ou de toile, sans même se préoccuper de l'usure qu'occasionne le tordage à la main, retient après cette opération trois fois plus d'eau qu'après l'essorage par la force centrifuge. — Ce mode d'élimination de l'eau doit donc être rejeté d'une manière absolue dans les blanchisseries bien organisées.

2° ***Pression***. — On se sert de la pression de deux façons différentes, soit en faisant passer le linge mouillé entre deux cylindres en métal garnis d'une enveloppe souple, de caoutchouc ou de flanelle, ou bien en les soumettant à une presse. Les appareils du premier système sont très analogues de construction. Ces essoreuses à cylindres souples extraient très imparfaitement l'eau contenue dans le linge. On comprend en effet que les plis et les épaisseurs de l'étoffe fassent obstacle à la répartition uniforme de la pression. Les boutons, les agrafes sont presque toujours cassés dans le passage entre les deux cylindres. Le rapprochement des cylindres est assuré par des bandes de caoutchouc qui les relient ou bien par un ressort en acier, ou encore par des contrepoids.

Voici un aperçu des prix de ces appareils.

Longueur du rouleau.	Nom du Constructeur.	Prix de l'Appareil.
0m.22	Decoudun, à Paris.........	50 fr.
0 .30	Id.................	80
0 .40	Id.................	180
0 .50	Id.................	230
0 .38	Bradfort.................	120
0 .45	Id.................	165

Malgré l'imperfection de ces appareils, leur usage est à recommander dans les ménages. Nous passerons maintenant à l'étude d'appareils mus, soit à la main, soit à la machine, et qui remplissent toutes les conditions de bon essorage.



La force centrifuge. — Les appareils fondés sur le principe de la force centrifuge, très répandus en Angleterre, commencent à se propager dans les buanderies françaises. Ils sont connus sous différentes dénominations, turbines, essoreuses ou hydro-extracteurs. Ils sont mus

à bras ou à la machine. Le rendement des essoreuses en kilogrammes d'eau extraite est bien plus économique que le prix du séchage à air chaud ; ainsi le prix d'un mètre cube d'eau enlevé par une essoreuse mue à la main est de. 3f,30

Pour une essoreuse mue à la machine. . . . . 0 ,44

Charbon consommé par le calorifère pour évaporer la même quantité d'eau. 6 ,30

On a donc tout intérêt à extraire par une essoreuse mue à la vapeur la plus grande quantité d'eau possible avant d'envoyer le linge à l'étuve. Il y a malheureusement une limite qu'on ne peut pas dépasser, le linge de coton et de lin retiendra toujours, malgré la durée et la vitesse de l'essorage, une proportion d'eau qui ne descendra pas au-dessous de 30 à 40 pour cent du poids du linge.

Quelle que soit la transmission de mouvement donné aux essoreuses, soit qu'elles soient mues à la main, par un moteur spécial ou par un arbre de couche de l'usine, elles se composent d'un vase rotatif à jour en tôle perforée ou en cuivre, calé sur un arbre vertical. Cet arbre est fixé à la partie inférieure dans une crapaudine et à la partie supérieure dans un coussinet en bronze. Le premier vase est contenu dans une enveloppe plus grande en tôle ou en fonte qui recueille l'eau projetée.

Il y a deux types différents d'essoreuses, celles qui sont commandées par le haut et celles dont la commande est faite par la partie inférieure.

Le mouvement est donné aux essoreuses à la main par une manivelle fixée sur un arbre horizontal, une paire d'engrenages augmentant la vitesse de rotation. Dans les essoreuses mues à la machine le mouvement se transmet par deux roues de friction dont le rapport des rayons est de 1 à 4. Le plus grand est en fonte et le plus petit recouvert de cuir ou de carton. Un frein et un débrayage sont adaptés à chaque essoreuse.

Les petites essoreuses à la main, de 0m,44 de diamètre de panier, mues par une femme, peuvent essorer 400 kilog. de linge par jour et coûtent 380 fr. ; celles de 0m,50 de diamètre essorent 700 kilog. et coûtent 720 fr., et celles de 0m,60 de diamètre essorent 1200 kilog. et coûtent 860 fr.

L'essorage peut être employé pour le linge le plus fin, même pour les dentelles et les tulles sans craindre de les détériorer.

Les grandes essoreuses dans les buanderies industrielles sont

mues par courroie à poulie de renvoi prise sur l'arbre de transmission de l'usine. Dans le cas où on ne dispose pas de force motrice on se sert d'essoreuses ayant leur propre moteur. Les premières sont semblables à celles employées dans les sucreries. Elles ont généralement de 1 mètre à 1m,20 de diamètre au panier et contiennent 80 à 120 kilog. de linge essoré, la vitesse moyenne est de 900 tours pour les essoreuses de 1 mètre et de 600 tours par minute pour celles de 1m,20 de diamètre, soit une vitesse linéaire à la circonférence de 37 à 47 mètres par seconde.

L'opération dure 15 minutes sur lesquelles 10 sont prises pour le chargement et le déchargement. Un homme desservant une essoreuse peut dans une journée de 11 heures de travail essorer 4,000 kilog. de linge et éliminer un poids d'eau de 2,400 kilog.

Les prix des essoreuses sont variables suivant leur diamètre et suivant le métal qui rentre dans leur construction. Voici un aperçu général de ces prix.

Essoreuses commandées par le haut par courroie.

DIAMÈTRE.	PRIX	
	AVEC PANIER EN FER ÉTAMÉ.	AVEC PANIER EN CUIVRE.
0m.40	400 fr.	425 fr.
0 .50	600	635
0 .60	800	850
0 .70	1100	1170
0 .80	1300	1390
0 .90	1500	1600
1 .00	1700	1810
1 .20	2300	2450
1 .25	2500	2680

Les essoreuses mues par courroie et commandées par la partie inférieure sont un peu plus chères que les précédentes, nous donnons ci-dessous quelques prix qui pourront servir de renseignements.

Essoreuses à mouvement en dessous commandées par courroie.

DIAMÈTRE.	PRIX	
	AVEC PANIER EN FER ÉTAMÉ.	AVEC PANIER EN CUIVRE.
0m.75	1230 fr.	1330 fr.
0 .90	1550	1660
1 .00	1820	1955
1 .20	2370	2550

Les essoreuses à moteur direct construites par Buffaud frères à Lyon et MM. Tulpin frères à Rouen, rendent de grands services dans les buanderies qui ne disposent pas d'une force motrice, ou dans le cas où l'arbre de transmission de l'usine est trop loin de l'essoreuse. Le dessin ci-contre nous dispense d'une description détaillée. Nous les avons vues



employées dans les buanderies de l'Assistance publique et à la Compagnie des lits militaires. Chaque fois que les dispositions de l'usine permettent d'employer des essoreuses mues par courroie, il faut les préférer aux essoreuses à moteur direct qui consomment beaucoup plus de vapeur, qu'elles ne prendraient de force sur l'arbre de commande de l'usine. Les essoreuses à mouvement en dessous, qu'elles soient actionnées par courroie ou par un moteur direct, offrent l'avantage

d'un chargement et déchargement plus facile et une sécurité complète contre les taches d'huile provenant des graissages dans les commandes



en dessus, stabilité plus grande dans l'ensemble, par suite de l'attaque de la commande par la partie inférieure.

Les prix de ces essoreuses à moteur direct à mouvement en dessus sont les suivants :

DIAMÈTRE.	PRIX	
	AVEC PANIER EN FER ÉTAMÉ.	AVEC PANIER EN CUIVRE.
0m.60	1350 fr.	1400 fr.
0 .70	1700	1770
0 .80	2100	2185
0 .90	2400	2500
1 .00	2600	2710
1 .20	3500	3650
1 .25	3700	3880
1 .65	6000	»

Les prix des essoreuses à moteur direct à mouvement en dessous sont un peu plus élevés *en effet :*

Prix des essoreuses à moteur direct à mouvement en dessous.

DIAMÈTRE.	PRIX	
	AVEC PANIER EN FER ÉTAMÉ.	AVEC PANIER EN CUIVRE.
0m.75	1830 fr.	1930 fr.
0 .90	2450	2560
1 .00	2720	2855
1 .20	3570	3750

Comme nous avons eu l'occasion de voir, les essoreuses malgré leur vitesse et la durée de l'opération ne peuvent extraire toute l'eau contenue dans le linge. — Il restera toujours 20 à 30 °/₀ d'eau qu'il faut éliminer par d'autres procédés. C'est le but que l'on se propose de remplir par l'opération suivante :

Séchage. — Après l'essorage le linge est conduit aux séchoirs.

Quand on peut disposer d'un grand emplacement et que le linge n'est pas livrable aux époques fixes, que le temps est propice, on sèche le linge le plus économiquement en plein air. A cet effet on choisit une place bien exposée au vent régnant, le terrain doit être sablé pour renvoyer les rayons de chaleur ou mieux gazonné. On établit des cadres de charpente soutenus par des poteaux, sur ces cadres on tend des fils de fer galvanisé, des fils de zinc ou des lattes en bois. On préfère ce dernier mode d'étendage, car le linge tendu sur un fil métallique se colle et ne laisse pas passer le courant d'air nécessaire, d'un autre côté, le contact prolongé du linge mouillé sur un fil détermine à la longue une usure prématurée. Les lattes en bois n'ont aucun de ces inconvénients. Pour 1,000 kilos de linge à sécher par jour, en plein air, il faut une surface de 1,000^{m2} pour le petit linge et 800^{m2} pour les draps.

Quand on ne peut pas disposer (comme cela arrive dans l'intérieur des villes) d'un grand espace et que le climat est humide, il faut avoir recours aux séchoirs couverts disposés en étages et protégés par des persiennes contre la pluie. La hauteur de chaque étage sans le plancher n'a pas besoin de dépasser 2^{m},25. Pour les séchoirs couverts à

étages on se sert pour monter et descendre le linge, de monte-charge. Les deux moyens de séchage du linge que nous venons de décrire sommairement sont trop subordonnés aux variations des saisons pour qu'on puisse compter d'une manière absolue sur leur rendement. — De là la nécessité d'avoir recours aux étuves à air chaud ou calorifères.

Calorifères. — Quelle que soit la disposition des calorifères, les conditions qu'ils doivent remplir sont : dissoudre le plus d'humidité et le plus économiquement possible sans détériorer le linge. —Nous avons d'après Péclet tous les éléments pour calculer le combustible nécessaire pour élever un volume déterminé d'air à une certaine température et le saturer d'eau. — Le linge imprégné d'eau introduit dans une chambre dont la température est élevée, dégage de la vapeur d'eau ou de la buée qui est plus lourde que l'air chaud de l'étuve. Cet air chaud gagnera la partie supérieure de l'étuve et la buée descendra. Il y a donc deux courants inverses qu'il faut savoir régler.

Dans les séchoirs où l'évacuation se fait à la partie supérieure, l'air chaud sort non saturé et on est loin d'utiliser convenablement le charbon consommé. Nous avons quelques exemples, déjà anciens, qui nous montrent un rendement très faible dû à une mauvaise disposition de l'étuve.

Dans une expérience faite à Mulhouse par M. Penot, 1 kilo de houille n'a vaporisé que $1^{k},36$ d'eau pour un séchoir et seulement $1^{k},02$ pour un autre. La température de l'étuve n'a pas pu être portée au delà de 30° à cause des refroidissements dus à des murs trop minces percés d'un grand nombre de fenêtres.

Dans d'autres expériences de M. Penot, en fermant les soupiraux qui se trouvaient à la partie supérieure du séchoir, 1 kilo de houille a vaporisé $1^{k},68$ d'eau, enfin dans un essai fait dans des conditions plus favorables on a trouvé qu'un kilo de houille a vaporisé $2^{k},86$ d'eau.

D'après M. Rayer, les expériences qui ont duré chacune 15 jours ont donné un effet utile moyen de $2^{k},37$, $2^{k},53$ et $2^{k},18$ d'eau évaporée par kilo de houille.

Le calorifère de M. Duvoir qu'on cite dans tous les ouvrages comme modèle, évapore $3^{k},52$ d'eau par kilo de houille. Les expériences faites à l'École militaire sur un séchoir construit par madame Charles n'ont donné que $1^{k},36$ d'eau par kilo de houille.

Actuellement les séchoirs construits, soit par notre camarade Piet, soit par Decoudun et C[ie], évaporent 4 kilos d'eau par kilo de houille.

D'après ce qui précède, on voit la nécessité absolue de faire évacuer la buée par la partie la plus basse de l'étuve. — L'air chaud s'élève d'abord, puis redescend en absorbant la buée pour aller gagner les ouvertures d'évacuation placées au niveau du sol. La quantité d'eau disssoute dans l'air est en raison de la température de ce dernier. En chauffant l'air on lui donne une capacité d'absorber une quantité d'eau plus grande qu'au début. Le tableau ci-dessous donne exactement la quantité d'eau contenue dans un mètre cube d'air saturé à la pression de 0m,76 à différentes températures.

Température.	Poids en grammes.	Température.	Poids en grammes.
0°	5.20	55°	88.74
5	7.20	60	105.84
10	9.50	65	127.20
15	12.83	70	141.96
20	16.78	75	173.74
25	22.01	80	199.24
30	28.51	85	227.20
35	37.00	90	251.34
40	46.40	95	273.78
45	58.60	100	295.00
50	63.63		

Dans les petites installations le séchoir représente une chambre dans laquelle on place un poêle, fig. 5, 6, pl. 146, pour le séchoir 1/2 rotatif, et 7 et 8 pour le séchoir rotatif, le linge est tendu sur des cordes ou des fils de fer, l'évacuation de la buée doit se faire à la partie inférieure. L'ouvrier pénètre dans le séchoir ordinaire pour étendre et enlever le linge. La température pour permettre ce travail ne peut donc pas être supérieure à 30 ou 35°. Dans les installations mieux conçues le chargement et le déchargement du linge se font en dehors de l'étuve et la température n'est limitée que par les besoins du séchage. Cette température n'est pas indifférente à la conservation du linge. D'après les calculs nous voyons que plus l'air est chaud, plus il est capable de dissoudre une quantité plus grande d'eau avant d'être saturé. On a donc en apparence le plus grand intérêt à échauffer l'air le plus possible. L'expérience au contraire fixe des limites qu'il faut atteindre, et d'autres, ne

pas dépasser, pour obtenir un effet utile. — Au-dessous de 30° la liquation entre la buée et l'air chaud n'est pas complète. Au-dessus de 90° et 100° le linge introduit dans l'étuve jaunit, devient rude au toucher; la fibre mouillée et gonflée par l'humidité, brusquement séchée par l'air chaud, ne reprend pas son état normal et reste distancée, de là cette rudesse au toucher. — Dans les calorifères les mieux surveillés la température varie seulement entre 60 et 70°.

Chargement du séchoir. — Pour empêcher le refroidissement de l'étuve pendant le chargement et le déchargement et pour obtenir un travail continu, on a eu recours à beaucoup de combinaisons dont nous retracerons les principales :

1° M. Piet construit des séchoirs fort répandus, dont la façade de l'étuve est divisée en une série de petites lames verticales, qui constituent autant de portes correspondant à une tringle fixe en fer sur laquelle glisse un tube en cuivre. Les fig. 5, 6, pl. 145, représentent le séchoir à air chaud à l'hospice des Incurables d'Ivry.

L'ouvrier ouvre la porte, fait glisser en dehors le tube creux, le débarrasse du linge qui est étendu, le remplace par du linge humide et remet le tube creux dans la chambre dont il referme aussitôt la porte étroite qui correspond à cette tringle. Ce système a pour but d'économiser la chaleur en donnant le moins d'ouverture possible à la chambre chaude. Ce chargement est adopté par l'Assistance publique.

Dans de grands calorifères, cette disposition fort ingénieuse n'a pas été appliquée. Le chargement et le déchargement sont infiniment plus rapides et plus commodes, quand toutes les tringles d'étendage se présentent à vous et qu'on peut les enfourner et défourner d'un seul coup. D'un autre côté, introduire du linge humide dans un milieu où d'autre linge est en voie de dessiccation est une fausse manœuvre, car la buée qui se forme est en partie absorbée par du linge sec qui est avide d'eau.

2° On a employé dans quelques étuves, la disposition suivante : Un grand tiroir roulant ayant ses barres d'étendage à la partie supérieure et dont les deux faces pleines en avant et en arrière faisaient office de porte d'étuve. — Quand le tiroir était en dedans de l'étuve, c'est la face postérieure qui en fermait l'issue ; au contraire, quand le tiroir était dans l'étuve, c'est la porte de devant qui faisait la ferme-

ture. — Ce système peu employé a l'inconvénient de ramener brusquement tout l'air chaud de l'étuve en dehors et de laisser, par une fermeture incomplète, des fuites d'air.

3° Système de tringles articulées employé à la Blanchisserie de Courcelles. — Ce mode de chargement se compose de deux chariots par étuve, articulés à losange comme les jeux de soldats, pouvant se replier sur eux-mêmes au moment de l'introduction par la porte de l'étuve et se déployer de façon à occuper la largeur de l'étuve, une fois introduit.—Le chargement et le déchargement du linge s'opèrent bien. L'essai tenté à Courcelles n'a pas été suivi d'autres applications. Le prix d'établissement de ce chariot est très élevé et les nombreuses articulations réclament un entretien fréquent et coûteux. — Cet essai a rendu ce service qu'il a montré une fois de plus que les machines les plus simples sont souvent les meilleures.

4° Le système le plus répandu et qui remplit le mieux les différentes conditions est celui à tiroirs. Chaque étuve est desservie par deux tiroirs ayant une largeur égale à la moitié de l'étuve, de cette façon le travail est continu. Chaque tiroir se compose d'un châssis en fer à roulettes ayant une série de tringles en fer ou mieux en bois de sapin, disposées parallèlement à la façade de l'étuve. La devanture du séchoir est fermée par deux portes en tôle, glissant l'une sur l'autre de façon à n'ouvrir que la moitié de la largeur de l'étuve.

Le chargement et le déchargement se font comme dans les étuves ci-dessus, en dehors, ce qui permet d'élever la température de l'air chaud à 60 et 70°.

5° Il ne nous reste plus à parler que du chargement rotatif, soit circulaire, soit demi-circulaire. Ces dispositions sont dues à M. Decoudun. Les dessins qui les représentent (fig. 5, 6, 7, 8, pl. 146) sont assez clairs pour ne pas nécessiter une plus longue explication. — Ces chargements trouvent leur place dans les installations moyennes.

Le foyer d'un calorifère se compose généralement d'une cloche en fonte demi-sphérique surmontant un massif en briques. Du haut de la cloche partent des tuyaux en tôle à emboîtement qui, après avoir parcouru toute la longueur du séchoir, se rendent dans une cheminée. — L'air qui doit servir de véhicule à la buée arrive autour de la cloche par la partie basse, s'échauffe au contact des tuyaux, gagne en vertu de sa moindre densité la partie supérieure du séchoir, pour redescendre

saturé d'eau au contact du linge humide par les soupiraux placés en bas.

Il est indispensable d'avoir des registres pour pouvoir régler, sui vant l'état hygrométrique de l'air extérieur et de sa température, l'évacuation et l'introduction de l'air chaud dans le séchoir.

Pour conserver au foyer un tirage suffisant, condition essentielle d'une bonne combustion, il est nécessaire de ne pas compliquer outre mesure les conduits de fumée et de préférer toujours les formes et les ajustements simples, faciles à exécuter et à démonter. D'un autre côté, il ne faut pas refroidir complètement la fumée, sous prétexte de faire rendre au combustible son plus grand effet utile, car la combustion serait imparfaite, et il se formerait dans les conduits de la suie et du noir de fumée. Pour avoir un bon tirage, il est nécessaire de ne pas évacuer la fumée au-dessous de 300 degrés, et faire surmonter le foyer d'une colonne verticale. L'air à chauffer doit circuler autour des tuyaux qui renferment la fumée. Dans le cas où la disposition est inverse, la chaleur rayonnante traverse le courant d'air sans l'échauffer, pour se réfléchir sur la surface opposée du tuyau même de chauffage, ce qui réduit considérablement la surface de chauffe. Le rendement d'un bon calorifère est admis pour 75 pour cent; mais, dans les projets d'installation, il est prudent de ne compter que sur 50 pour cent, soit 1 kilog. de houille ne produisant que 3000 calories environ (Grouvelle).

Nous donnons (fig. 2. 3, 4, pl. 145) les plans de six calorifères, construits à l'usine de Grenelle, appartenant à la Compagnie des lits militaires. Voici le résultat que nous avons obtenu en marche normale. La température de l'étuve n'était que de 52 degrés; le rendement aurait été plus satisfaisant encore avec une température plus élevée.

Chaque calorifère a	une surface de chauffe.	33^{m^2}
—	une capacité de.	97^{m^3}
—	une surface de grille de.	$0^{m^2},385$
Le charbon consommé, par calorifère et par 24 heures, est de.		250 kilos.

C'est du tout venant à 37 pour cent de gailleterie passé sur une grille de $0^m,04$ d'écartement.

Poids total du linge séché par 24 heures.	2995 kilos.
Quantité d'eau évaporée.	993 —

Soit par kilog. de houille, $3^k,968$ d'eau évaporée.

Chaque mètre carré de surface de chauffe a évaporé 30 kilogrammes d'eau en 24 heures.

Précédemment, à l'article *Essoreuse*, nous avons mis en avant le prix de revient de l'eau extraite par la force centrifuge, par mètre cube, à 0f44, et par le calorifère 6 fr. 50. Les résultats obtenus par le calorifère sur lequel nous avons fait les essais sont très satisfaisants ; ils sont dus à leur construction soignée et à leur bonne conduite. Pendant la nuit le foyer n'est pas alimenté ; on couvre le feu avec du poussier et on charge les barres d'étendage d'un poids double de linge que pendant les tournées de jour.

Nous ne passerons pas en revue tous les genres de calorifères qu'on peut établir, nous nous contenterons de citer les systèmes qui ont des avantages particuliers, comme les calorifères en terre réfractaire, construits par MM. Piet et Cie, Gaillard-Haillot et Cie, qui donnent une chaleur plus uniforme que les calorifères en fonte et tôle. Le calorifère construit par MM. Piet et Cie, avec foyer système Michel Perret (fig. 2, pl. 146), qui permet d'utiliser les menus combustibles en poudre, qui reviennent à 10 francs les 1000 kilogrammes, au lieu de 40 francs, prix moyen du charbon. Ce foyer est disposé comme les appareils pour le traitement des pyrites, et formé d'une série de dalles placées les unes au-dessus des autres sur lesquelles le combustible est répandu en couches uniformes qui, dans un milieu très chaud et léchées par l'air préalablement amené à 300 degrés sur son passage dans la double façade du foyer, brûlent jusqu'à ce qu'il ne reste plus trace de charbon dans les cendres.

Le linge commun qui ne doit pas recevoir d'apprêt, sortant du calorifère, est plié et livré. Le linge fin ou qui doit subir d'autres opérations, est transporté dans les ateliers de repassage ; on le passe au bleu avant l'essorage pour masquer sa couleur jaune. Les machines qui apprêtent ce linge sont :

1° Les calandres ;

2° Les presses hydrauliques et les presses à percussion ;

3° Les machines à repasser.

Calandres. — Quand on veut donner au linge plat un certain lustre, sans l'amidonner ni repasser, on lui fait subir l'opération du manglage ou du calandrage. Le manglage (fig. 10, pl. 144), s'opère, en

Angleterre, en Allemagne et en Russie ; c'est un simple roulage à froid du linge contre lui-même, entre deux plateaux, dont l'un est chargé de poids. Les prix de ces machines, mues par manivelle, construites par Bradfort, sont :

Longueur du chariot.		1m,50	400 fr.
—	—	2m,10	700
—	—	2m,65	1000

Les calandres à froid se composent de deux cylindres en bois, et les calandres à chaud de deux cylindres en fonte polie, dont l'un est recouvert de carton à glacer, et l'autre est chauffé intérieurement par la vapeur ou le gaz.

L'ouvrier règle la pression des deux cylindres, soit au moyen de poids qui agissent sur un levier, soit au moyen de vis. Le linge (serviettes et généralement le petit linge plat) ne reçoit préalablement aucun apprêt : il est seulement légèrement humecté ; en passant entre les cylindres, la chaleur et la pression lui donnent le lustre voulu. Toutes les calandres ont l'inconvénient de couper les ourlets, d'aplatir le grain rond du tissu et d'user le linge dans une certaine mesure. On compte, dans les blanchisseries qui font la location de linge, qu'à égale qualité la serviette non calandrée dure cinquante-huit à soixante blanchissages, et la serviette calandrée seulement quarante-cinq blanchissages. C'est donc une diminution de 25 pour cent due à la calandre. Le manglage est loin de provoquer une usure pareille.

Le prix d'une calandre à cylindre chauffée à la vapeur (fig. 9, pl. 144) est d'environ 1700 francs ; elle apprête, par journée de onze heures de travail, 4500 serviettes, ce qui donne le prix de revient, par 1000 serviettes, main-d'œuvre et vapeur comprises, de 2 à 3 francs. La même quantité de serviettes, repassées à la main, reviendrait à 20 francs environ.

Le linge calandré, aussi bien que celui qui n'est que plié, est passé sous des presses assez puissantes pour lui faire marquer les plis. On se sert, dans les buanderies, de deux genres de presses.

Les presses dites à percussion (fig. 11, pl. 143) ne sont autres que des presses à vis, mues à la main par un volant horizontal, et les presses hydrauliques, mues par une pompe. Ce sont des machines fort simples et assez connues pour ne pas s'y étendre davantage.

Le linge à plis ne peut être repassé qu'à la main ; le linge plat, au

contraire, peut recevoir l'apprêt voulu par les machines à repasser de M. Decoudun, mues mécaniquement. Ces machines rendent de grands services dans les buanderies importantes ; elles économisent beaucoup de main-d'œuvre. Elles se composent d'une portion de cylindre en métal poli sur sa face interne, contre laquelle s'appuie un rouleau recouvert d'une épaisse couche de tissu de laine. Ce rouleau, animé d'un mouvement de rotation, entraîne le linge à repasser contre la partie concave du fer cylindrique, qui est chauffé intérieurement, soit par un fourneau au charbon de bois, soit plus commodément par la vapeur ou une rampe de gaz. Cette machine n'a pas les inconvénients de la calandre ; le linge n'est pas comprimé entre deux corps durs qui l'aplatissent et l'usent.

La machine à repasser système Decoudun ressemble beaucoup aux presses à chaud employées au décatissage des draps.

Le rendement de ces machines est de 400 serviettes à l'heure. Les prix sont :

DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	PRIX.	OBSERVATIONS.
0m.130	0m.250	65 fr.	
0 .130	0 .900	165	
0 .130	0 .900	285	A bâti et fourneau.
0 .250	1 .100	770	Id.
0 .350	1 .300	1100	Avec fourneau.
0 .350	1 .300	1200	Avec chauffage par la vapeur et mue par courroie.
0 .420	1 .900	3500	

Les pièces ouvragées telles que chemises d'hommes, bonnets, etc., se repassent au moyen de fers à main chauffés par des fourneaux spéciaux. — Ces fourneaux à chauffer les fers sont :

1° A cuvette close ;

2° Fourneau à cloche.

Une des conditions à remplir pour un fourneau à chauffer les fers est de ne pas exposer le fer directement aux produits de la combustion, car dans ce cas, on sera forcé d'essuyer le fer soigneusement et de le frotter chaque fois avec de la cire. Dans un grand atelier, il vaut mieux

avoir de petits fourneaux à portée d'un groupe d'ouvrières qu'un grand fourneau unique. Il est utile d'empêcher par tous les moyens le rayonnement très considérable de ces fourneaux, dont la chaleur fatigue les repasseuses.

Les fourneaux à cuvette close atténuent bien une partie de la chaleur rayonnante; mais l'ouvrière perd un certain temps à ouvrir et fermer le four.

Prix des fourneaux sans cuisine avec four pour :

18 fers..................	145 fr.
24 fers..................	165 fr.

Les fourneaux à cloche peuvent être à cloche fixe ou mobile. Ceux à cloche fixe alimentés au coke sont vendus :

1° Pour	10	femmes,	avec cuisine	four	150 fr.
2° —	15	—	—	—	250 fr.
3° —	22	—	—	—	350 fr.

Ce poêle est monté sur un plateau avec pieds et les plaques de dessus s'enlevant à volonté, alimenté de combustion par le haut; le coke descend au fur et à mesure de sa consommation. De cette façon, on a un feu modéré et une température constante pendant toute la journée. Les plaques qui touchent aux fers sont constamment au rouge. On rencontre chez les blanchisseuses des fourneaux de constructions très diverses.

Les fourneaux à plateaux mobiles du système Chambon-Lacroisade sont de petites cloches rotatives contre lesquelles sont accrochés les fers, elles sont alimentées au coke. — Leur prix pour 6 fers est de 47 fr.

Nous avons passé en revue toutes les opérations concernant le blanchissage, nous finirons, cette étude, un peu aride peut-être et qui n'a d'intérêt que pour un nombre très limité de personnes, par le nettoyage des couvertures, par la préparation et le cardage des matelas.

Les grandes buanderies ont quelquefois des installations spéciales pour le dégraissage des couvertures de laine. Les appareils employés sont des foulons à battoirs (fig. 8, 9, 10, pl. 143).

Ce foulon est composé d'une caisse en chêne contenue dans un bâti en fonte. Deux battoirs en chêne sont animés dans cette caisse d'un mouvement alternatif de va-et-vient communiqué par un arbre coudé.

On opère de la façon suivante :

On introduit dans le foulon dix couvertures en laissant couler une pluie d'eau et en embrayant la poulie qui donne le mouvement aux deux battoirs. Au bout de 10 minutes, on verse de l'eau glaisée par petite portion et on termine l'opération par un rinçage à l'eau pure. Au sortir du foulon on essore les couvertures à la turbine et on les sèche en plein air.

Certains grands établissements de blanchissage possèdent le matériel nécessaire pour fournir et entretenir les couchettes. — La question de cardage et de nettoyage des matelas dans les hôpitaux et dans les casernes est directement liée à la question d'hygiène.

La laine, comme on sait, est une matière qui absorbe les miasmes et les infiltrations putrides et donne asile à des insectes. Il est de toute nécessité, aussi bien pour la salubrité que pour le confort, d'assainir la laine des matelas. — Cette opération se pratique tous les dix-huit mois pour la couchette du soldat, et dans les hôpitaux de l'Assistance publique plus souvent. On ne doit jamais laisser les matelas tachés ou humides entassés longtemps, il se produit une fermentation putride donnant naissance aux vers.

Les machines dont on fait usage pour la préparation de la laine, sont : les griffeuses et les cardeuses. Les griffeuses ont pour but d'étirer et paralléliser les fibres de la laine. Celles qui sont employées sont construites par M. Delalande, elles débitent par heure 33 kilos de laine et par journée de 11 heures de travail environ 400 kilos. La laine neuve devant être passée deux fois, le débit en laine neuve griffée est par jour 200 kilos. Le prix de la griffeuse est de 1,700 fr. La laine griffée neuve aussi bien que la laine ayant servi doivent recevoir un cardage avant d'être confectionnée en matelas.

Les cardes employées en France sont de deux systèmes :

Des cardes balancières de Prat, de Grenoble, débitant 400 kilos de

laine par journée de 11 heures, leur prix est variable suivant les dimensions, savoir :

DIMENSIONS.	PRIX.
1.00 × 2.30	300 fr.
0.90 × 2.10	280 fr.
0.80 × 2.00	260 fr.

Ces machines assez répandues n'ouvrent pas suffisamment la laine, par les balancements des pointes de cardes la laine se roule sur ellemême.

Les cardes à pointes construites par Delalande débitent 200 kilos de laine par jour. Leurs prix sont :

CARDES A BATI EN BOIS.			CARDES A BATI EN FONTE.		
LARGEUR.	POIDS.	PRIX.	LARGEUR.	POIDS.	PRIX.
0m.30	80kil.	320 fr.	0m.40	270kil.	600 fr.
0 .40	100	350	0 .60	330	700
0 .50	120	400	1 .00	450	1100

Le déchet de la laine dans le cardage est de 5 °/o 1/2.

Dans les ateliers de cardage il se dégage de la poussière nuisible à la santé des ouvriers, on l'évacue de la façon suivante :

Les cardes sont renfermées dans des enveloppes en bois communiquant toutes par des conduits à un ventilateur aspirant qui chasse la poussière à l'extérieur. Une chambre de repos est placée entre le ventilateur et la cheminée d'évacuation, pour recueillir les flocons de laine entraînée.

OBSERVATIONS

SUR LES

ESSAIS DE TRACTION EN GÉNÉRAL

ET SUR LES

RÉSULTATS D'ESSAIS DIVERS

EXPOSÉS

PAR LE COMPTOIR DES FORGES DE SUÈDE ET LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT AUSTRO-HONGROIS, EN PARTICULIER

PAR A. RUBIN.

Le présent travail comprend deux parties :

I. — Observations sur les essais de traction.

II. — Observations sur les résultats d'essais divers exposés par le Comptoir des forges de Suède (JERNKONTOR), et la Compagnie des Chemins de fer de l'Etat Austro-Hongrois (STAATSBAHN).

I

OBSERVATIONS SUR LES ESSAIS DE TRACTION.

Il n'y a pas vingt ans que l'on a commencé, dans les usines, à faire sérieusement, d'une façon générale, des essais physiques et chimiques sur les fers et aciers, fondus et soudés. C'est en France, on peut le dire, que l'on a commencé, et les installations spéciales du Creuzot et de Terre-Noire peuvent être citées parmi les plus anciennes et les meilleures. Précédemment, de tels essais n'étaient guère faits que par des savants, et ce sont surtout des noms français que l'on peut encore citer ; ceux de Navier, Rondelet, Poncelet, Wertheim, Morin, Tresca, pour les essais de résistance des matériaux.

Aujourd'hui, ces essais sont considérés comme indispensables presque partout, et déjà on songe à employer les mêmes méthodes pour rendre les essais comparables. Il faut espérer que les Ingénieurs Anglais et Nord-Américains, qui commencent aussi à faire des essais, voudront bien, cette fois, ne pas trop s'écarter des voies suivies par leurs confrères de l'Europe centrale, afin que ceux-ci puissent profiter de leurs travaux.

C'est uniquement des essais de traction dont il sera parlé dans cette première partie, tous les essais physiques pouvant s'y rapporter. J'examinerai d'abord les *principales conditions de comparabilité des essais de traction*.

La *première condition* est l'adoption du sytème métrique. Les nombreuses et originales expériences de Kirkaldy sur les fers et aciers, celles de Knut Styffe et Sandberg sur les rails, sont presque inconnues de nous par suite de l'emploi déplorable du pied, du pouce, et de la livre. M. Wöhler, Ingénieur en chef du matériel et de la traction du chemin de la Basse Silésie, a fait une série hors ligne d'expériences de toutes sortes sur la « fatigue » des métaux soumis à des efforts répétés; j'ai dû, pour tirer parti du millier de nombres présentés, me livrer pendant plusieurs jours à un travail fastidieux de réduction, sur les tableaux de M. Wöhler.

La *deuxième condition* pour arriver à la comparabilité des essais de traction, c'est l'emploi de machines à essayer établies au moins sur les mêmes principes, si ce n'est exactement sur le même type. En France, les presses hydrauliques de notre collègue Thomasset se trouvent dans les usines, les ateliers de l'État et ceux des chemins de fer; leur auteur vient de recevoir à l'Exposition une récompense exceptionnelle et une distinction méritée. En Allemagne, la grande presse de Bauschinger est très employée, comme nous le verrons plus loin. En Angleterre, M. Kirkaldy se sert d'un appareil à levier de son invention.

On doit citer spécialement, parmi les machines anglaises, celle de MM. Tangye frères, laquelle est munie d'un dispositif spécial enregistrant les déformations. Cette machine est décrite dans un intéressant mémoire de M. l'Ingénieur de la Marine, Joëssel, mémoire ayant pour titre : « Expériences sur les fers, les fontes et les aciers » et publié dans « le Mémorial du Génie maritime », année 1872. Elle fonctionne aux ateliers d'Indret, dont M. Joëssel est le Directeur.

Une *troisième condition* de comparabilité, c'est l'adoption d'échantillons de mêmes formes, prélevés dans les mêmes conditions, et ayant surtout la même longueur. La question de l'influence de la longueur a été soulevée dans le sein de la Société des Ingénieurs civils, après l'Exposition de Vienne, à propos de la présentation par le Creuzot d'une longue série de résultats d'essais faits sur des barrettes de 100 millimètres, au lieu de 200 qui est la longueur usitée. M. Marché a donné une formule permettant de rapporter à une longueur déterminée un allongement trouvé sur une autre longueur ; cette formule peut rendre des services quand il n'y a pas de grands écarts entre les longueurs considérées.

Il a été constaté depuis longtemps que les allongements se cantonnent, pour ainsi dire, autour de la section de rupture. Les allongements p. °/₀ déduits d'essais faits sur des barres longues, comme dans certaines expériences anglaises, ne signifient donc pas grand chose.

J'ai fait, en 1869, sous les ordres de M. Guillaume, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, une série assez complète d'essais sur des barrettes découpées à froid dans des champignons de rails d'acier de diverses provenances, rails qui avaient été préalablement essayés au choc et à la pression avec des appareils de même type.

Ces barrettes furent toutes essayées à la traction avec le même appareil. Elles avaient 200 millimètres de longueur utile, et étaient divisées en 8 parties de 25 millimètres de long, chaque. On produisait d'abord une tension un peu inférieure à celle nécessaire pour atteindre la limite d'élasticité, puis on augmentait l'effort de façon à avoir 5 kilogr. de plus par millimètre, et ainsi de suite. A chaque augmentation de la charge, on mesurait l'allongement de chacune des divisions tracées sur la barrette. On put constater ainsi, non seulement le fait du cantonnement des allongements autour de la section de rupture, mais encore, l'irrégularité des allongements. Ainsi, à une charge donnée telle division présentait moins d'augmentation d'allongement qu'elle n'en avait présenté sous la charge précédente. Ce n'est que vers la fin de l'opération que l'on peut voir sûrement où cassera la barrette. Pour mieux suivre l'opération vers la fin, on n'augmentait les charges que de $2^k,5$ par millimètre carré.

Ces expériences n'ayant pas été publiées, elles ne sont citées ici que pour mémoire.

Plus tard, M. Tresca en faisant des expériences sur le bronze des ca-

nons coulés en coquille chez MM. Laveissière, pendant le siège de Paris, M. Tresca a dégagé le fait du cantonnement avec la netteté et la précision qui s'attachent à tous ses travaux.

Il y a lieu de signaler spécialement ici l'importance des services rendus par M. Tresca à la science de la résistance des matériaux. C'est à lui que l'on doit les remarquables recherches expérimentales et théoriques sur l'écoulement des solides, et la curieuse découverte de l'amélioration de la résistance d'un métal par l'application d'un effort dépassant légèrement la limite d'élasticité.

Revenant au fait du cantonnement des allongements autour de la section rompue, il faut citer encore les expériences de M. Marché sur des barres divisées sur leur longueur en plusieurs parties égales, expériences qui ont servi de base aux belles recherches théoriques auxquelles M. Marché se livre sur le très important sujet de la déformation permanente.

Enfin, tout récemment, au meeting de Paris de l'« Iron and steel Institute », M. D. Adamson, a, dans un mémoire « sur les qualités propres au fer et à l'acier doux », cité des expériences personnelles constatant une fois de plus le fait du cantonnement, fait déjà reconnu par Kirkaldy et que l'on peut expliquer ainsi :

Que se passe-t-il dans une matière essayée à la traction ?

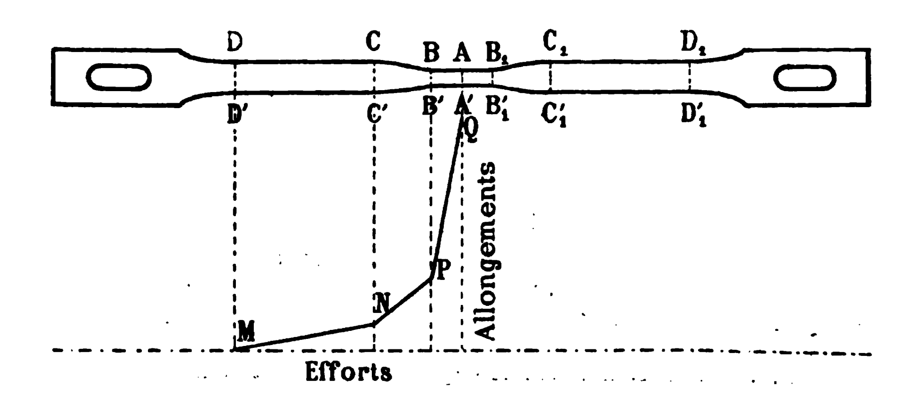
Supposons d'abord une matière très résistante et non élastique, une matière dure. Elle cassera brusquement, sans prévenir par une déformation quelconque, elle cassera sous une très forte tension. La rupture se produira en un point quelconque que la théorie ne peut indiquer d'avance.

Supposons ensuite une matière peu résistante et non élastique, une matière molle. Elle s'allongera excessivement, en se déformant de suite d'une façon permanente. La rupture se produira en un point quelconque de la longueur, indéterminable, lorsque la section aura été suffisamment réduite.

Supposons enfin une matière résistante et élastique, du fer, ou de l'acier, fondu ou soudé, que se produira-t-il ?

Il n'y a pas de matière absolument homogène, de plus, par suite de l'impossibilité où l'on est pratiquement de répartir la traction d'une façon mathématiquement égale en tous les points d'une section quelconque de la barrette essayée, il résulte ce fait qu'à partir d'un moment donné on peut voir là où la barrette cassera. On ne pourrait dire

cela par le calcul. Il y a donc dans la barrette essayée une section plus faible, ou soumise à un effort plus considérable que dans les autres. C'est la section de rupture.



AA' étant la section de rupture, supposée ici placée au milieu de la barrette, la déformation de ladite barrette peut être représentée par le croquis ci-dessus, s'il s'agit d'un métal doux. A partir de CC', $C_1 C'_1$ il s'est produit comme une sorte d'écoulement de la matière, et l'observation de la barrette permet de vérifier une fois de plus la théorie de M. Tresca sur l'écoulement des solides. Selon M. Tresca, les filets BC, B'C', $B_1 C_1$, $B'_1 C'_1$ sont formés par des arcs de paraboles ; les parties droites $B B_1$ $B'B'_1$ constituent le jet proprement dit. La partie entre DD' et CC' $D_1 D'_1$ et $C_1 C'_1$ n'a subi aucune déformation notable, celle entre CC' et BB', $C_1 C'_1$ et $B_1 B'_1$ a subi une déformation plus considérable, celle entre BB' et $B_1 B'_1$ a subi une déformation extrêmement plus considérable. Entre DD' et CC', $D_1 D'_1$ et $C_1 C'_1$ l'élasticité a eu un grand rôle, un rôle moindre entre CC' et BB', $C_1 C'_1$ et $B_1 B'_1$, un rôle nul entre BB' et $B_1 B'_1$. Le tracé MNPQ montre l'accroissement de la déformation permanente par rapport aux sections DD', CC', BB', AA'.

Ce fait étant établi, que c'est autour de la section de rupture que se produit la plus grande partie de l'allongement du barreau, on conçoit qu'il est inutile de donner une trop grande longueur aux barrettes ; 200 millimètres sont inutiles, 100 suffisent et donnent, sans réduction, sans chances d'erreur, l'allongement p. °/₀ cherché.

Ce n'est que dans des circonstances tout à fait spéciales que l'on peut avoir besoin de faire des essais sur des pièces de grandes longueurs, par exemple, quand on veut vérifier des soudures ; cas des

chaînes, des tirants de charpentes. Au chemin de Lyon, il y a, pour les essais de chaînes, une machine très puissante dont les dessins ont été exposés. En Angleterre, certains expérimentateurs se sont plus à essayer des tiges très longues; il est douteux qu'ils puissent motiver sérieusement de tels essais.

J'ai dit plus haut, en parlant de la comparabilité des essais, que les échantillons doivent être autant que possible prélevés de la même manière. A ma connaissance, l'importance de ce fait a été dégagée pour la première fois par MM. Ch. Jolly et Jolly fils, constructeurs en fer à Argenteuil, dans un petit ouvrage sur les planchers en fer. Des expériences spéciales leur ont montré que la résistance à la traction de l'âme d'un I est supérieure à celle des ailes.

M. Reed, l'ex-constructeur en chef de l'Amirauté a montré que des tôles de même qualité, mais de dimensions différentes, d'épaisseurs différentes surtout, n'avaient pas du tout la même résistance. Voir l'ouvrage de M. Reed sur la construction des navires en fer et en acier. Les Ingénieurs de notre marine française tiennent compte de ce fait dans la réception des tôles d'acier.

Après avoir énuméré et motivé les principales conditions de comparabilité des essais de traction, je passe à d'autres observations à propos de ces essais.

Un élément que l'on ne dégage qu'exceptionnellement, à propos des essais de traction, et qui pourtant rend de grands services dans la discussion des résultats obtenus, c'est la *résistance vive* d'élasticité et de rupture, élément qui a été introduit par Poncelet. M. Gautier, dans une série de bien utiles et intéressantes communications à la Société sur l'emploi de l'acier dans les constructions, a insisté particulièrement sur les résistances vives. Il a même donné une méthode approximative suffisante pour faire la quadrature donnant la résistance vive de rupture.

L'introduction de la considération des résistances vives de rupture a permis à M. Gautier de prouver théoriquement les avantages de l'acier doux pour la résistance au choc.

Je crois devoir mentionner ici spécialement un mémoire présenté à la Société par M. Brüll, en 1863, où cet ingénieur, au moyen de la no-

tion des résistances vives et d'expériences sur des fils de *caoutchouc*, a démontré la supériorité de l'acier sur le fer.

La supériorité de l'acier doux sur le fer, dans les cas des très importantes applications à l'artillerie et des constructions navales, a été démontrée d'une façon indiscutable : 1° par M. l'Ingénieur en chef des mines Tournaire, dans ses expériences sur les canons d'acier fabriqués pendant la guerre franco-allemande ; 2° par le C[el] Bobilier dans ses essais de toutes sortes sur des canons d'acier fabriqués au Creuzot; 3° par M. l'ingénieur Barba, dans sa note bien connue sur l'emploi de l'acier dans les constructions.

Un autre élément qu'il pourrait y avoir intérêt à dégager dans des expériences de traction un peu précises, c'est le *temps* d'application de l'effort. On arrivera peut-être, en tenant compte du temps, à relier les phénomènes de choc à ceux de la pression, ce qui serait de la plus haute importance. M. Marché a présenté à la Société l'ébauche d'une théorie de la déformation permanente, théorie embrassant à la fois les phénomènes du choc et de la pression. Cette théorie, pour être complète, devrait peut-être, précisément, tenir compte du temps.

Le problème est du reste très difficile, mais son étude devient indispensable aujourd'hui ; il faut que l'on arrive, autrement que par voie presque empirique ou tout au moins au moyen de théories tellement compliquées qu'elles sont toutes discutables, — il faut que l'on arrive à calculer sûrement les éléments d'un pilon, l'épaisseur d'un tube de canon, d'une frette, d'un blindage. Le temps ne peut être négligé dans ces théories.

Je me permettrai de rappeler, à propos de la connexion à établir entre les phénomènes de choc et ceux de pression, qu'en 1863, j'ai, suivant l'usage d'alors, présenté un travail à la Société en entrant dans son sein. Ce travail, qui a été résumé en séance par M. Goschler, avait pour titre « de la fabrication et de la réception des rails. » Dans le cours de ce travail, se trouve l'indication d'un programme d'expériences à faire en vue de poser les bases d'une théorie reliant le choc à la pression.

II

OBSERVATIONS SUR LES ESSAIS DU « JERNKONTOR » ET DE LA « STAATSBAHN. »

Les essais de diverses sortes que je me propose d'examiner maintenant, ont été faits dans des conditions particulièrement intéressantes, car ils sont relativement comparables : Métal doux, pur, et emploi d'une même machine d'essai; celle de Werder perfectionnée par Bauschinger.

Tous les éléments relatifs à ces essais se trouvent dans les brochures suivantes :

1. Note sur l'état actuel de l'industrie du fer en Suède, par le professeur Ackerman.
2. Expériences de force et de traction, sur des tôles suédoises produites par des procédés divers, faites aux frais du Comptoir des Forges.
3. Notice sur le classement, l'élaboration et la qualité des aciers Bessemer, Martin et Pernot, produits dans les aciéries de Reschitza et Anina, appartenant à la Cie des chemins de l'État Austro-Hongrois.
4. Analyse faite au laboratoire d'Oravicza (Hongrie).
5. Essais de résistance des fontes, fers et aciers de l'usine de Reschitza (Hongrie).

Ces brochures ayant été très libéralement mises dans les mains de tous les Ingénieurs qui ont visité avec l'attention qu'elles méritaient les remarquables expositions du « Jernkontor » et de la « Staatsbahn », je n'ai pas à les analyser ici. Je me propose seulement de signaler les résultats intéressants, de les discuter, et de chercher les conséquences que l'on en peut tirer.

A. — ESSAIS DU JERNKONTOR.

Le but principal des essais du Jernkontor est de démontrer expérimentalement la supériorité des tôles d'acier suédois sur celles d'Angleterre au point de vue de la douceur et, partant, de la résistance au choc, pour l'emploi dans les coques de navires. — Il serait facile de démontrer la même chose pour nos produits français, mais cela n'entre

pas dans mon cadre. — C'est peut-être la première fois que l'on a fait, en même temps que des essais de traction, de cintrage et de ployage, des essais au choc sur des tôles ; tous ces essais, faits sous la direction de M. l'ingénieur Delwick, furent faits d'une façon très rationnelle. Pour les essais au choc, chaque tôle, de forme circulaire, était comme encastrée par ses bords et recevait, sur son centre, le choc d'un boulet ; on notait à chaque coup la dépression produite, jusqu'à l'apparition des fissures.

On a constaté tout d'abord, dans les essais au choc, qu'un martelage préalable du lingot avant laminage n'augmentait pas la résistance, c'est le contraire qui a été constaté dans d'autres essais qui seront analysés plus loin, ceux de la Staatsbahn. Les avantages pratiques de l'acier doux ont été, une fois de plus, nettement dégagés dans les essais analysés ici ; l'on a conclu de ces essais que le Lloyd anglais ne demandait pas des tôles aussi douces qu'il le faut pour des coques de navire.

Les Suédois estiment que l'acier très doux qu'ils fabriquent, — supérieur en douceur à l'acier anglais le plus doux, — se soude parfaitement. En France, nous ne sommes pas aussi affirmatifs. Les Autrichiens, qui ont exposé aussi des aciers soudés, n'ont pas insisté comme les Suédois sur l'excellence de la soudure de l'acier. On peut rappeler à ce propos qu'une des raisons qui ont nui au développement de la fabrication des rails en fer à tête d'acier c'est, précisément, l'imperfection de la soudure, dans beaucoup de cas.

Une autre différence à signaler entre les conclusions des Suédois et celles des Autrichiens, c'est que les premiers trouvent des écarts de résistance entre des tôles d'acier essayées en long et celles essayées en travers du sens du laminage, tandis que les derniers ne constatent pas de différences appréciables.

Je ne dirai rien des considérations d'ordre chimique auxquelles se livrent MM. Didron, Westman et Angström, — les rédacteurs de la préface de la brochure du « Jernkontor », — parce qu'elles n'apprennent rien de nouveau ; les Aciers et Fers Suédois étant très purs, comme on le sait, et le Phosphore seul s'y introduisant quelquefois en quantité appréciable. Je ne veux pas, du reste, parler ici de l'influence des corps constituants sur la résistance ; ce serait compliquer inutilement la question, trop neuve pour qu'il soit permis d'avoir des opinions arrêtées. La résistance à la traction d'un acier déterminé, par exemple,

dépend de trop d'éléments pour qu'on puisse la prévoir exactement; c'est une fonction de plusieurs variables qui, elles-mêmes, sont fonctions les unes des autres. En 1875, M. Euverte a appelé l'attention de la Société sur la nécessité de ne pas se hâter de poser des conclusions, de faire des classifications. Ce que M. Euverte a dit alors à propos de l'influence du Phosphore, du Silicium, du Manganèse, reste vrai de tous points et, *a fortiori*, quand il s'agit du Titane, du Tungstène, du Chrôme.

En examinant les tableaux d'*essais au choc* présentés par les Suédois, j'ai remarqué un fait qu'il peut être utile de signaler. Ces essais ont été tous faits avec un même mouton, pesant 872 kilogr., mais dont les levées étaient variables, généralement 4^m,500 et 1^m,500. Si on calcule le nombre de kilogrammètres nécessaires pour produire une même flèche donnée, — dans le cas de levées de 4^m,500 et de 1^m,500, — on constate que pour obtenir une faible flèche il a fallu, dans les deux cas, le même nombre de kilogrammètres, tandis que plus les flèches sont fortes plus le nombre de kilogrammètres produit est considérable, dans le cas de faibles levées.

J'ai dressé le tableau ci-dessous en faisant les calculs d'après un exemple moyen; ce tableau montre nettement le fait que j'ai dégagé.

POUR AVOIR UNE FLÈCHE D'ENVIRON	IL FAUT, AVEC UNE LEVÉE DE : 1^m,500.			IL FAUT, AVEC UNE LEVÉE DE : 4^m,500.		
79^{mm}	3 coups	produisant.	3,924^k	1 coup	produisant.	3,924^k
107	7	—	9,156	2	—	7,848
122	10	—	13,080	3	—	11,772
140	15	—	19,670	4	—	15,696

La différence qui est dans le premier cas de 0 kilogrammètre, devient successivement 1308, 1308, 3974 kilogrammètres.

Si des expériences spéciales et nombreuses dégageaient sans conteste le fait constaté ici, on pourrait en conclure des notions utiles sur l'emploi rationnel des pilons.

Les *essais de traction* faits par M. Delwick par l'ordre du « Jernkontor » ont montré la grande douceur et la régularité du métal, et très nettement, une fois de plus, l'influence bien connue, depuis longtemps en France, de la trempe et du recuit.

J'avoue ne pas bien comprendre l'utilité des *essais de cintrage* faits par les Suédois. Dans ces essais, des tôles circulaires de 320 millimètres de diamètre, en acier, étaient posées sur un anneau de 200 millimètres à l'intérieur, et subissaient la pression du poinçon à panne hémisphérique ayant 50 millimètres de diamètre. Je considère comme préférables des essais de flexion sur des barres prismatiques appuyées ou encastrées à leurs extrémités ; on peut alors, tant qu'on est au-dessous de la limite d'élasticité, se livrer à des calculs comparatifs intéressants avec des essais de traction correspondants. C'est ainsi que les Autrichiens ont opéré, comme nous le verrons plus loin.

Les *essais de ployage à froid* des tôles d'aciers suédois ont montré la régularité et la douceur auxquelles nous sommes maintenant habitués en France ; il n'y a pas lieu de s'y arrêter.

B. — ESSAIS DE LA STAATSBAHN.

La série des essais présentés par la Société des chemins de fer de l'État Austro-Hongrois est, je le crois, la plus minutieusement précise, la plus méthodique et la plus complète de toutes celles qui nous viennent de l'étranger. Elle fait le plus grand honneur à notre compatriote, le très regrettable M. Barré, directeur des usines de la Staatsbahn, — lequel avait organisé dans tous ses détails la superbe exposition de sa Compagnie. Des éloges particuliers doivent aussi être adressés à M. le professeur Bauschinger, directeur du bureau des essais à l'École Polytechnique de Munich, lequel a été l'expérimentateur choisi par la Staatsbahn.

Les essais de la Staatsbahn sont, avec ceux de Wöhler, et ceux moins méthodiques de Kirkaldy, ce que l'on peut citer de plus intéressant comme collection de chiffres venus du dehors.

La série de la Staatsbahn contient 148 tableaux d'essais d'aciers Martin-Siemens, Bessemer, fers puddlés, fontes ordinaires et mélangées avec des rognures d'acier ; chacune de ces natures de métal, — à des degrés de dureté différents, — étant essayée à la traction, à la compression, au cisaillement, à la flexion et à la compression.

Des graphiques résument les résultats des tableaux détaillés, et des planches photolithographiques reproduisent la belle exposition des cassures des barrettes essayées. Je rappelle qu'une brochure spéciale donne les méthodes et les résultats des analyses chimiques pour chacun des produits présentés.

Une troisième brochure, que je n'examinerai pas, quoique très intéressante aussi, donne les détails d'essais de rails, de bandages, d'essieux en acier, et de *ponts* en fer.

Il a été dit plus haut que les essais autrichiens, comme ceux suédois, ont été faits avec la même machine, celle de Bauschinger.

J'arrive, maintenant, aux observations principales que suggère l'étude de ces excellents documents.

Les *essais de traction* dégagent les faits suivants :

1. — Le coefficient d'élasticité de l'acier doux ne diffère décidément presque pas de celui du fer, et il ne semble pas être fonction ni de la résistance à la rupture, ni de la limite d'élasticité.

2. — Plus le métal est martelé avant d'être laminé, plus il a de résistance.

Comme nous l'avons vu plus haut, les conclusions des Suédois ne sont pas les mêmes sur ce point; la question est du reste encore fort controversée partout. A l'appui de l'opinion des Suédois, on peut citer ce fait que des rails, des bandages de différentes provenances, fabriqués avec des lingots martelés avant laminage, n'ont pas montré une augmentation sérieuse de résistance.

La question est complexe. Dans un cas donné, il faut savoir dans quelles conditions le martelage a été fait, si par exemple, on a employé un pilon de puissance convenable, ni trop faible ni trop fort. Il faut savoir aussi si le laminage qui a suivi le martelage a pu produire l'effet voulu. Quand on lamine avec les cylindres ordinaires un lingot qui vient d'être martelé, au lieu d'être simplement fondu, les conditions de serrage ne sont plus les mêmes, et un tel laminage ne fait que changer la forme de la matière sans lui donner beaucoup plus de *corps*. D'une façon générale, il est prouvé que le travail mécanique, — martelage, laminage, passage à la filière, — augmente la résistance du métal ; il n'y a pas de raison pour que toutes ces actions combinées judicieusement ne s'ajoutent pas.

3. — Il a été fait par la Staatsbahn une série d'essais de traction sur des barres plates et rondes, longues de $4^{m},500$; ces barres étaient divisées en parties de 250 millimètres que l'on a mesurées après rupture. Ces essais spéciaux ont donné à peu près les mêmes résultats que ceux faits sur les barrettes ordinaires de 250 millimètres, — cela prouve l'homogénéité de la matière, — ils ont montré aussi que

les allongements maximums des parties de 250 millimètres se trouvaient dans la partie où la rupture se produisait.

4. — Il reste à noter, à propos des essais de traction de la Staatsbahn, des essais faits sur des fontes mélangées avec 10 et 20 °/₀ de riblons d'acier: on a obtenu une résistance variant entre 23 et 27 kilogr. La limite d'élasticité, pour cette fonte dure, n'a pu être déterminée.

Les *essais de compression* sont en général fort difficiles à faire, à cause de la déformation presque immédiate de l'échantillon essayé; on ne peut déterminer que la limite d'élasticité, ce qui est suffisant, dans l'espèce. En général, pour l'acier, dont je m'occupe plus particulièrement dans ce travail, on constate sur les tableaux de la Staatsbahn l'indication de ce fait que la limite d'élasticité est inférieure à celle du métal soumis à la traction. La résistance à la rupture est beaucoup plus grande à la compression qu'à la traction, mais cela est le fait de la déformation anormale qui se produit toujours.

Les *essais de cisaillement* dont les résultats sont présentés, n'offrent rien de particulier; ils montrent le fait connu d'une résistance moindre qu'à la traction.

Les *essais de flexion* de la Staatsbahn sont particulièrement intéressants, parce que de tels essais sont très rares, et qu'ils dégagent nettement l'influence de la résistance particulière due au *glissement longitudinal des fibres.* Cette résistance est plus grande que celle admise par les auteurs de théories sur la résistance des matériaux. On sait que c'est au colonel Jorawki que l'on doit la première indication de l'influence du glissement longitudinal des fibres. En me servant des chiffres présentés dans les tableaux examinés ici, j'ai pu dresser le tableau spécial suivant :

NUMÉRO DE DURETÉ	TRACTION.		FLEXION.		DIFFÉRENCE en faveur de la flexion pour la résistance à la rupture.
	Limite d'élasticité.	Rupture.	Limite d'élasticité.	Rupture.	
2	36ᵏ.06	69ᵏ.35	39ᵏ.00	120ᵏ.86	51ᵏ.55
3	28 .06	77 .85	33 .11	101 .80	23 .95
4	25 .70	69 .79	25 .00	101 .54	31 .75
5	23 .58	54 .44	26 .50	86 .34	31 .90
6	23 .58	49 .58	18 .50	73 .04	23 .46
7	20 .10	40 .17	18 .50	61 .97	21 .80

Il faut dire, par exemple, que les barreaux essayés à la flexion

avaient 1 mètre de longueur entre appuis, tandis que ceux essayés à la traction n'avaient que 250 millimètres entre repères. L'influence du glissement longitudinal n'en subsiste pas moins à un degré notable.

Les *essais de torsion* ne me paraissent pas avoir une importance pratique particulière pour les ingénieurs. Ils permettent de montrer à un haut degré la douceur du métal, mais il y en a d'autres plus simples, et il ne semble pas qu'il y ait lieu d'imiter les Américains, lesquels semblent se préoccuper spécialement de l'étude des phénomènes de torsion, témoin la machine de Thurston. Les essais de torsion, comme ceux de compression, sont du reste particulièrement délicats et, dans l'espèce, M. Bauschinger convient que la rupture se produisant « pres« que constamment, pour l'acier, — et pour ce qui est des pièces moins « résistantes, on peut dire sans exception, — dans le voisinage de « l'une ou de l'autre des têtes de la pièce, il est incontestable que « cette circonstance est de nature à altérer dans une certaine mesure « l'exactitude des résultats. »

Les tableaux des essais de torsion de la Staatsbahn montrent, comme fait utile à noter, que le module d'élasticité tombe très bas dans le cas des efforts de torsion ; 8,000,000,000, environ, au lieu de 22,000,000,000, environ, dans le cas des aciers.

Par conséquent, la limite d'élasticité baisse à peu près dans la même proportion. La résistance à la rupture reste à peu près la même.

Telles sont les principales observations auxquelles donne lieu la belle série des essais de la Staatsbahn ; elles terminent le travail que je me suis proposé d'entreprendre ici.

COMPTE RENDU DE L'OUVRAGE DE M. VUILLEMIN

INGÉNIEUR ADMINISTRATEUR DE LA COMPAGNIE D'ANICHES

SUR LES

MINES DE HOUILLE D'ANICHES

EXEMPLE DES PROGRÈS RÉALISÉS

DANS LES

HOUILLÈRES DU NORD DE LA FRANCE PENDANT UN SIÈCLE

PAR M. E. JAVAL.

Cet ouvrage se recommande par le nom même de son auteur. M. Émile Vuillemin, ingénieur-administrateur des mines d'Aniches, est aussi Président du Comité des houillères du Nord et du Pas-de-Calais.

La Compagnie des mines d'Aniches a eu la rare destinée de conserver à la direction de ses vastes entreprises M. Vuillemin pendant le tiers de cette période séculaire. Cette histoire d'un siècle des mines d'Aniches écrite par M. Vuillemin avec une excellente méthode d'organisation, avec un esprit investigateur et synthétique nous dépeint l'histoire pleine de péripéties de l'industrie générale de la France dans une période tourmentée et dont peu de témoins restent encore. Aux mines d'Aniches, on avait à lutter non seulement contre la nature dans le passage de torrents souterrains appelés « niveaux » avec des moyens mécaniques très primitifs, mais contre les difficultés bien autrement puissantes créées par la Révolution française de 93, l'émigration des intéressés et des employés, les guerres du 1er Empire et l'invasion de la France par les armées étrangères. Et s'il est une industrie qui réclame le calme et la confiance en même temps qu'une direction unique et soutenue pendant de longues années, c'est au premier chef l'exploitation des mines. En effet, outre les éventualités du succès communes à toutes les industries, les mines sont exposées aux lenteurs de travaux souterrains à sections

limitées, où quelque soit l'importance du capital engagé, on ne peut mettre qu'un nombre très limité d'ouvriers en chantier.

Félicitons la Compagnie d'Aniches d'avoir déjà conservé pendant trente-quatre ans M. Vuillemin à sa tête pour l'accomplissement des grands travaux, qui avaient été projetés à son arrivée. Mais quelles vicissitudes pendant les 73 années qui précèdent! M. Vuillemin nous raconte cette période fort émouvante, dont nous allons retracer les traits principaux pour permettre d'apprécier la persévérance opiniâtre des Sociétaires de cette entreprise dont les intérêts ont été et sont encore partagés en 25 sous de 12 deniers divisés eux-mêmes en douzièmes.

C'est en 1773 que fut fondée la Compagnie d'Aniches par le marquis de Trainel, lieutenant-général des armées du roi, grand-croix de l'ordre royal et militaire de Saint-Louis, grand propriétaire très considéré dans le Hainaut.

La première séance des directeurs est à noter : on se demande si on fera opérer différents tourneurs de baguettes sur la veine qu'on croit exister pour constater son importance et sa direction. A quoi tenait la destinée d'une puissante Compagnie alors à l'état embryonnaire! On ne dit pas si on donna suite à cet horoscope. Toujours est-il, qu'après cinq années de travaux difficiles, la houille est découverte. Grand enthousiasme, hausse considérable du denier qui, de 1,000 £ versées, atteint la valeur de 5,000 à 8,000 £. Mais trois années s'étaient à peine écoulées depuis ce succès (1781), que le découragement gagne les directeurs. On se décide pourtant à continuer les travaux et on découvre de nouvelles veines; mais les dépenses restent toujours plus élevées que les recettes. L'abandon de deux des quatre fosses creusées est décidé. Les eaux qui les envahissent inondent aussi les deux autres fosses qui étaient en communication avec elles. Ainsi se trouve tout à coup anéanti un capital de plus de 1 million déjà dépensé et le fruit de treize années de travaux soutenus. Le denier tombe à 333 £, les directeurs se retirent et sont remplacés par d'autres sociétaires qui creusent deux nouvelles fosses, sans que les recettes soient supérieures encore aux dépenses.

A ces difficultés viennent s'ajouter bientôt les embarras bien autrement graves de la Révolution, de l'invasion du territoire par les Autrichiens, de l'émigration d'un grand nombre de sociétaires et du caissier de la Société. Des associés abandonnent leur part en payant au préalable leur quote-part de dettes, s'élevant alors à 6,600 £ par denier. Les parts

d'émigrés, qui avaient été confisquées, furent restituées par la République aux associés restés en France, à la condition de payer les dettes et de maintenir les travaux en activité. On comprend combien étaient lourdes ces obligations.

Enfin en 1805, la fosse Sainte-Barbe permet, après trente-deux années d'efforts et de dépenses, de distribuer un 1[er] dividende de fr. 20,57, soit 1/2 % du capital; en 1813-14, 2[e] et 3[e] dividende; en 1823, 4[e] dividende; en 1825-26, 5[e] et 6[e] de fr. 100 et 66 par denier.

A partir de 1846, l'extraction, qui a augmenté, produit assez de bénéfice pour distribuer fr. 300, puis successivement fr. 4,200 et fr. 4,800 en 1856 et 1863. Autre cause de prospérité : en 1852, on découvre la houille grasse à Douai dans le périmètre de la concession. En 1855, un programme de grands travaux nouveaux est décidé, en vue d'arriver à une production annuelle de 600,000 tonnes: ce qui entraînait à des percements de fosses, établissement de chemins de fer, matériel de wagons, etc.

On peut juger des produits obtenus dans cette période

par la valeur du denier qui valait £	8,000	en 1840,
et monte à fr.	16,000	1847,
	30,000	1853,
	70,000	1855,
	80,000	1860,
retombe à	54,000	1865,
et remonte à	100,000	1867,
	300,000	1874,
	350,000	1875.

En 1873 était fêté par la Compagnie d'Aniches son centenaire, et parmi toutes les largesses qu'elle réserva à son personnel, à ses ouvriers, à ses institutions de bienfaisance, citons-en une à sa louange, et faisons des vœux pour que ce noble exemple rencontre beaucoup d'imitateurs dans l'industrie :

Au festin d'inauguration, l'Ingénieur-administrateur de la Compagnie, M. E. Vuillemin, trouva sous sa serviette, comme gratification un titre à son nom de 1 denier d'Aniches, dont la valeur était déjà de fr. 300,000.

De tels chiffres se passent de commentaires. Ils font à la fois l'élo-

quent éloge d'une administration éclairée et d'une direction éminemment intelligente et dévouée.

Après avoir fait cet historique avec clarté et sous une forme fort intéressante, M. Vuillemin entre dans le vif de la question technique avec cette supériorité que donne la connaissance de la statistique raisonnée d'une industrie ; un abondant atlas de planches est joint à son ouvrage.

Il évalue d'abord et la richesse houillère d'Aniches et celle du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Il base ses appréciations, non par approximation comme trop souvent on est obligé de le faire, mais par expérience, en calculant le cube de houille effectivement enlevé par mètre carré de surface et déduisant le cube à extraire du cube extrait. Ses conclusions sont de nature à rassurer pour une longue période encore sur la production de ce riche bassin houiller. Aniches peut fournir 1 million de tonnes de houille pendant 500 ans successifs. Le bassin du Nord et du Pas-de-Calais, dix fois plus, soit 10 millions de tonnes chaque année, pendant 500 ans. M. Vuillemin traite du matériel d'extraction des mines du Nord : la forme des puits, carrée à l'origine, puis rectangulaire, est devenue circulaire et a augmenté de diamètre. Les cuvelages en bois de chêne de choix ont été quelquefois dans les dernières années remplacés par des voussoirs en fonte. Et particulièrement pendant les vingt-cinq dernières années ont été faits ces admirables cuvelages annulaires du système Kind-Chaudron, par cylindres en fonte d'une seule pièce chacun, superposés les uns et les autres, avec joints horizontaux métalliques séparés par une lame de plomb et boulonnés entre eux. Avec ce procédé de fonçage de puits à niveau plein, procédé Kind-Chaudron qui constitue la plus belle invention dans l'art des mines, et a mérité à mon excellent ami M. Chaudron les plus hautes récompenses dans toutes les Expositions universelles, on peut avec une machine de 25 chevaux traverser sûrement des niveaux, qu'on ne pouvait franchir auparavant avec des machines de 500 et de 1,000 chevaux par les procédés ordinaires.

Telles concessions de houille (Maurage, Glin) que l'administration belge n'avait pu octroyer en présence de l'insuffisance des moyens de fonçage connus jusqu'alors, ont été depuis mises en exploitation grâce à la supériorité du procédé de fonçage à niveau plein Kind-Chaudron. Une savante Conférence vous a été faite par mon digne ami,

M. J. Levy sur ce procédé. Nous ne pouvons mieux faire pour les détails que comporte ce procédé que renvoyer à l'ouvrage de M. Levy « du Fonçage des Puits de mines. »

Comme machines, M. Vuillemin nous ouvre un véritable musée archéologique de la machinerie du siècle dernier. C'est d'abord la machine carrée mue par un manège où s'attelaient jusqu'à 100 chevaux qui « allaient bon train » disent les rapports du temps; puis la machine de Newcomen, en 1780, ensuite celle de Watt et Boulton, puis celle de Cornouailles, puis les machines verticales, à traction directe, et enfin la machine horizontale d'épuisement d'Aniches, qui avait l'avantage de débarrasser les abords de l'avaleresse et de garantir la machine contre les éboulements du puits. Il passe en revue les pompes employées, et aussi l'épuisement par cages en utilisant les machines d'extraction.

Les machines d'extraction ont été d'abord des manèges à chevaux, puis des machines à vapeur Perrier en 1802, puis de Woolf, puis machines à haute pression, et enfin, les grandes machines horizontales à deux cylindres de 200 chevaux.

Quand on connaît les immenses difficultés des passages des niveaux et l'insuffisance fréquente des machines puissantes et perfectionnées de nos jours, on est frappé de la hardiesse des fondateurs de la Compagnie d'avoir entrepris le creusement des premiers puits ouverts avec les moyens primitifs que nous décrit M. Vuillemin.

On fit longtemps usage, nous rappelle M. Vuillemin, pour les transports intérieurs dans les galeries, à Aniches, de seaux ovales sur patins. En 1822, Anzin emploie des rails à ornières en fonte. A Aniches, en 1826, les rails d'abord en fer plat calés dans des traverses en bois, puis des rails ⌶, puis en 1869 des rails vignoles. On commence à employer dans le Pas-de-Calais des rails en acier à doubles bourrelets. Les premiers rails en fer coûtaient fr. 53, ils valent aujourd'hui fr. 18, ceux en acier fr. 26. Avec les chemins de fer on économisa, dit un rapport du temps, moitié de la dépense du herchage.

En 1845, dans les travaux souterrains, les plans inclinés automoteurs sont substitués aux voies inclinées, et aussi l'emploi des chevaux au travail des hercheurs.

En 1875 Aniches installe une traction mécanique souterraine avec moteur au jour par câble-tête, câble-queue. Anzin aussi avait établi l'année précédente une traction mécanique mais avec moteur au fond. A Bully-Grenay, on utilise à la traction des treuils à air comprimé.

C'est en travaux de mines surtout que « time is money » vu la lenteur de l'avancement dans les creusements : aussi à cet égard la perforation mécanique qui va quatre fois plus vite, dit M. Vuillemin, a-t-elle rendu de grands services. Aniches y emploie des fleurets en acier Bessemer de Denain, et de la poudre comprimée ou de la dynamite au lieu de poudre ordinaire.

Pour l'aérage des travaux, les foyers intérieurs ont été successivement remplacés à Aniches à partir de 1850 par les ventilateurs à vapeur, d'abord système Fabry, puis Lemielle, et enfin Guibal.

Pour l'éclairage, aux chandelles fixées au chapeau rond en cuir du mineur, on substitua en 1839 les lampes à huile de colza économisant 2/3 de la dépense.

Pour les installations au jour, aux barraques primitives ont été substituées des constructions grandioses appropriées aux exigences d'une vente plus considérable, donnant des charbons mieux nettoyés, mieux classés, et des quantités d'une importance correspondante à l'augmentation de débouchés amenée par les chemins de fer en 1855.

D'une production annuelle de 10,000 tonnes par fosse, avec tous ces perfectionnements on arrive à 100,000 et même à 160,000 comme à Lens.

M. Vuillemin suit l'augmentation progressive des salaires des ouvriers depuis 1780 :

Elle est de.	50 °/₀ en 50 ans	de 1780 à 1830
	33 °/₀ en 15 ans	de 1830 à 1845
	37 °/₀ en 15 ans	de 1845 à 1860
	27 °/₀ en 13 ans	de 1860 à 1873

l'ouvrier qui gagnait fr. 346, en 1812, arrive ainsi en 1877 à un salaire de fr. 1,002.

Ainsi depuis le commencement du siècle les salaires ont triplé. Mais l'effet utile de l'ouvrier a augmenté dans la même proportion, grâce aux améliorations apportées dans l'organisation des travaux.— Le bien-être de l'ouvrier mineur s'est accru d'une manière considérable ainsi que le montre le tableau donné par l'auteur des prix des subsistances, d'après les adjudications des hospices de Lille de 1819 à ce jour. Il résulte de ce tableau que, tandis que le salaire augmentait de 300 pour 100 la cherté des subsistances n'augmentait que de 75 pour 100, et

que l'ouvrier voyait ses conditions d'existence s'améliorer dans une énorme proportion.

On avait d'abord exploité le faisceau des houilles maigres du Sud-Est de la concession d'Aniches. Le riche faisceau de veines de houilles grasses du Nord-Ouest de la concession d'Aniches a été mis en exploitation vers 1852, époque à laquelle étaient également découvertes et développées les mines du Pas-de-Calais.

Terminons cet historique de l'industrie houillère du nord, en jetant un coup d'œil sur la carte : on voit la suite non interrompue du terrain houiller qui partant d'Aix-la-Chapelle passe par Liége, Charleroi, Mons. Recouvert en partie par un épais manteau de terrains morts, il a été constaté et recoupé par sondages et par puits : à l'Est dans le bassin de la Rühr ; à l'Ouest, dans le bassin de la Belgique, puis à Valenciennes, Douai, et a atteint entre Boulogne et Calais les rivages de la Manche aux mines d'Hardinghem. Finissons en appelant l'attention sur la découverte intéressante faite récemment à Tottenham court Road près Londres des terrains dévoniens en dessous des terrains morts à 1114 pieds de profondeur, ainsi que le constate M. le professeur J. Prestwich dans une note récemment publiée à Londres dans le « quarterly Journal of the Geological Society. » Par le sondage artésien fait chez MM. de Meux et C°, à Tottenham court Road, celui de Crossness et celui de Shoreham, on reconnaît que les terrains jurassiques, dont on pouvait avoir à craindre les puissantes assises, manquent complètement près de Londres, et que le terrain houiller peut y être atteint à une profondeur accessible : ce qui conduit à cette conclusion générale : c'est que le magnifique bassin houiller de la Rühr, en Westphalie, au N.-E. d'Aix-la-Chapelle, doit faire suite au bassin houiller Belge passant par Liège, Charleroi, Mons ; ce dernier bassin se continue lui-même en France, sous Valenciennes, Douai, Béthune, Hardinghem, constituant notre riche bassin du Nord, qui doit se continuer lui-même jusqu'à Londres, après avoir traversé la Manche. Immense développement sur plus de 700 kilomètres d'un même faisceau houiller, dont la constatation aura demandé aussi un siècle de travaux opiniâtres.

ANALYSE

DE L'OUVRAGE DE M. ALFRED EVRARD

TRAITÉ PRATIQUE

DE

L'EXPLOITATION DES MINES

PAR A. BRÜLL.

Notre collègue M. Alfred Evrard est Directeur de la Compagnie houillère de Ferfay (Pas-de-Calais), il faisait partie du Comité d'admission de la classe des mines à l'Exposition de 1878, il est professeur d'exploitation à l'Institut industriel du Nord de la France. Les titres de l'auteur recommandent déjà le livre. La part importante que l'art d'exploiter les mines a prise dans le développement de la richesse publique, les progrès rapides et remarquables dont il s'est enrichi, suffisent à montrer l'utilité de l'œuvre entreprise.

Le traité est le résumé d'un cours en quarante leçons professé à Lille en 1878. Il se compose de deux volumes in-4° avec atlas dont la première partie contenant vingt et une leçons a seule paru quant à présent (1).

L'auteur s'est proposé de faire connaître surtout, pour chaque partie de l'art de l'exploitation, l'état actuel des choses; il passe rapidement sur la partie historique ou purement didactique du sujet, mais les perfectionnements les plus récents que la pratique ait accueillis y sont décrits, étudiés avec soin et l'ouvrage prend ainsi un intérêt d'actualité qui fait souvent défaut aux livres du même genre. On y trouve aussi des données pratiques immédiatement utilisables qui rendront bien souvent service au lecteur.

(1) E. Dacquin, éditeur, Mons, 1879.

Le premier volume contient sept chapitres qui traitent :

Des notions préliminaires;
Des explorations et recherches;
De l'abatage des roches;
De la perforation mécanique;
Du soutènement des excavations;
Du fonçage des puits de mines et des méthodes d'exploitation.

Nous indiquerons en quelques mots ce qui nous a paru le plus nouveau dans ces divers chapitres.

Parmi les travaux de recherche figurent les sondages. Après avoir décrit l'outillage habituel et les procédés ordinaires du sondeur, après avoir donné des devis de matériel et d'installation, des tableaux des prix des forages dans divers terrains, le modèle d'un journal de sondage, M. Evrard parle du sondage au diamant. Cet ingénieux moyen de perforer les roches, inventé à Paris par Leschot, il y a plus de quinze ans, est habilement mis en œuvre par une société américaine dont l'exposition a été fort remarquée en 1878.

Une couronne de bronze munie de diamants enchâssés dans le métal, est mise en rotation à la vitesse de 90 à 100 tours à la minute; la couronne est montée sur une série de tubes de cinq à six centimètres de diamètre. On envoie à l'intérieur de la colonne un courant d'eau abondant qui entraîne par l'extérieur les débris très fins du rodage. On obtient des témoins à l'aide de dispositions fort simples. On a pu forer par ce moyen jusqu'à 700 mètres de profondeur; on a obtenu des avancements allant jusqu'à 93 mètres en une semaine. On a appliqué ce procédé au forage des trous de mines nécessaires au fonçage d'un puits, et l'on a réalisé aussi des avancements exceptionnellement avantageux.

Dans le chapitre qui traite de l'abatage des roches, on compare les fleurets en acier aux fleurets de fer rechargés d'acier. L'effet utile de l'ouvrier serait doublé et les frais d'entretien réduits des deux tiers par l'emploi d'outils tout en acier.

Les trous de mines sont chargés de poudre ordinaire, de poudre comprimée ou de dynamite. La poudre comprimée présente divers avantages sur la poudre ordinaire; la dynamite procure des avancements plus rapides. L'auteur regrette que les chemins de fer français, bien qu'une expérience de dix années ait montré que l'explosif peut se

transporter sans danger, ne consentent pas à se charger du transport de la dynamite. Nous sommes heureux de pouvoir dire que depuis quelques jours les Compagnies acceptent cette marchandise aux conditions d'un règlement récemment décrété et que par suite cet explosif a baissé de prix et peut parvenir plus vite et plus facilement au lieu de consommation.

Le tirage à la dynamite à l'aide de mèches ou à l'aide de l'électricité est traité avec détails. Les machines à électricité statique sont aujourd'hui préférées pour faire partir les mines. On en fait de fort commodes.

L'avantage qu'on recherche en provoquant l'explosion simultanée d'un certain nombre de coups de mine serait d'après l'auteur un point discutable. Nous pensons qu'il y a là une faculté précieuse que l'électricité seule peut donner avec pleine garantie pour la sécurité, et qui procurera dans bien des circonstances un avantage très net. Il ne faudrait pas cependant abuser de ce moyen; on conçoit que dans l'avancement d'une galerie en roche dure, il convienne de produire d'abord une cavité conique dans laquelle des mines périphériques pourront ensuite pousser au vide.

Les mineurs du Midi creusent les trous de mine en frappant de la main droite avec une massette sur le fleuret qu'ils maintiennent et font tourner de la main gauche. On travaille dans le Nord à deux hommes à l'aide de masses plus pesantes. La comparaison de ces deux modes de travail est l'objet d'une étude intéressante faite surtout d'après le beau travail de M. Havrez. Le premier procédé présenterait dans la généralité des cas un quart ou un tiers d'économie sur le second.

Quand l'abondance du grisou interdit l'emploi des explosifs, on se sert d'aiguilles-coins et d'appareils à pression hydraulique dont quelques-uns rendent de bons services.

La perforation mécanique est traitée ensuite avec détails. Le perforateur Lisbet à tarière est la première machine qui ait réussi à suppléer le travail direct. Il est mû à bras et convient aux roches tendres ou de moyenne dureté.

L'air comprimé permet de transporter à de grandes profondeurs et à de grandes distances le travail mécanique dont la production n'est nulle part aussi coûteuse que dans les mines. Il y a là tout un art encore nouveau : la production de l'air comprimé, le transport au lieu d'em-

ploi, les divers récepteurs, les perforatrices et les haveuses sont traités avec développement; de nombreux dessins rendent ces descriptions fort claires, les résultats pratiques sont exposés en abondance.

Le livre si intéressant de M. Pernolet sur l'air comprimé, l'exposition universelle, la pratique de nos principales exploitations françaises sont mis à contribution pour exposer dans un ensemble succinct l'état présent de la perforation à l'air comprimé.

La pression employée est ordinairement de 3 ou 4 atmosphères, quelquefois un peu plus forte au détriment de l'effet utile, en vue d'économie sur les installations.

Les compresseurs sont fort divers. S'il ne s'agit que d'une faible production d'air peu comprimé, on ne combat par aucun moyen l'échauffement de l'air. Ce cas se présente rarement.

On se contente quelquefois d'atténuer l'échauffement par un courant d'eau circulant autour du cylindre. Ce moyen est peu efficace; il donne des appareils peu coûteux, mais d'un rendement médiocre.

On emploie aussi, pour de petites installations, une mince couche d'eau mouillant la paroi intérieure du cylindre.

Les compresseurs à piston hydraulique, ou système Sommellier, sont assez répandus. Leur rendement est favorable, mais ils ne peuvent fonctionner à plus de 12 ou 15 tours par minute et prennent par suite des proportions énormes dès qu'il s'agit d'une production importante.

M. Révollier refroidit l'air, et par une circulation extérieure et par une injection d'eau dans le cylindre. On produit ainsi de l'air à 4 kilogrammes de pression dont la température ne dépasse pas 50°.

Enfin, c'est M. Colladon qui a réalisé le refroidissement le plus efficace par une circulation d'eau autour des cylindres et dans les fonds de ceux-ci, dans l'intérieur des pistons et de leurs tiges, et par une injection d'eau pulvérisée sous forte pression. Déjà MM. Sautter et Lemonnier ont pourvu plusieurs exploitations de mines de compresseurs de ce système qui donnent de bons résultats d'emploi.

La dépense totale, entretien, intérêt et amortissement compris, pour produire et transmettre à 1000 mètres de distance un cheval de force utile est de 0 fr. 25 à 0 fr. 30 par heure.

Les perforateurs sont nombreux et variés. L'auteur passe en revue les appareils Sommellier, Dubois et François, Mercier, celui des mines

de Nœux, de la Compagnie d'Anzin, des mines de Blanzy (système Darlington), les perforatrices Sachs, Ferroux, Mac-Kean et Schramm.

Les dépenses à faire pour installer dans une mine la perforation mécanique sont fort élevées. M. Evrard indique les moyens de les réduire par l'emploi de compresseurs à bon marché. Il fait connaître encore deux perforatrices à rotation à air comprimé (Trautz et Dron) qui, pour des roches moyennement dures, seront d'un service avantageux.

Le principal avantage de la perforation mécanique est la rapidité de l'avancement. Dans les travaux préparatoires des mines, le temps est fort précieux. Quant au prix de revient des ouvrages, il est des cas où il a été un peu moindre que par le travail à la main, mais, en général, il est aussi élevé et quelquefois même un peu supérieur.

On emploie les appareils d'abatage à air comprimé principalement pour creuser des galeries au rocher, mais on s'en sert aussi quelquefois pour le perçage des puits, et on l'a utilisé dans certains gisements très réguliers pour le havage des couches de charbon.

La haveuse W. Baird se compose d'une chaîne de Galles, armée de couteaux d'acier, qui pénètre de $0^m,80$ dans le charbon. Celle de Winstanley et Barker porte une roue à couteaux et fait un havage de $0^m,90$. En une heure de travail on fait une entaille de $0^m,07$ d'épaisseur sur 72 mètres de longueur. Il faut des couches régulières et dures, et des terrains encaissants très solides, pour utiliser ces ingénieuses machines.

Trois leçons sont consacrées à l'importante question du soutènement des excavations. Des données pratiques sont d'abord fournies sur l'emploi du bois dans les mines, sur le boisage des tailles, des galeries et des puits, sur le muraillement.

Parmi les essais et perfectionnements étudiés, nous n'avons rien trouvé sur la préparation chimique des bois pour en augmenter la durée dans les mines. Il y a cependant quelques résultats intéressants à citer. Par contre, l'emploi du fer uni au bois, et l'emploi du fer et de la fonte sont traités avec les développements que mérite l'importance du sujet.

Le fonçage des puits de mines à travers les terrains aquifères est une des opérations qui exercent le plus la patience, l'énergie et la sagacité des mineurs. On s'étonne vraiment des obstacles qu'on a su vaincre avec les ressources chétives dont on disposait autrefois. Il a fallu souvent sept ou huit ans de travail incessant et une dépense de

deux à trois millions de francs pour traverser 100 à 150 mètres de morts-terrains avec des venues d'eau de 10 à 15 mètres cubes à la minute. Et combien de travaux de fonçage ont dû être abandonnés après une lutte prolongée et coûteuse contre les difficultés naturelles!

M. Evrard expose très clairement : le fonçage par le procédé direct, en épuisant l'eau qui arrive dans l'avaleresse, en l'isolant ensuite par des cuvelages étanches et résistants; le procédé Triger à l'air comprimé ; le système Guibal; il arrive ensuite au procédé Kind et Chaudron de forage à niveau plein et il décrit les outillages à la fois puissants et ingénieux de MM. Lippmann et Dru pour l'application de cette belle méthode, le cuvelage en fonte, la boîte à mousse qui produit un joint étanche à la base de la colonne avec la roche solide. Ces cuvelages métalliques ont éprouvé quelquefois des accidents, mais jusqu'à présent on a toujours pu les réparer par des moyens assez simples.

Plusieurs années avant l'épuisement de l'étage en exploitation, il faut travailler à créer un étage inférieur, et pour cela il faut approfondir le puits sans en entraver les divers services. Ce problème difficile se pose principalement dans les pays comme le Nord et la Belgique, où, à cause des puissants niveaux que contiennent les morts-terrains, l'établissement d'un siège d'extraction représente une dépense de deux à trois millions. Mais le fonçage sous stot, tel qu'il se pratique généralement, coûte cher à cause de l'insuffisance des moyens dont il permet l'emploi pour extraire les déblais et l'eau de l'approfondissement, et ne donne pas toujours de bons résultats par suite du peu de précision des opérations géométriques par lesquelles on détermine l'axe de la partie nouvelle du puits.

M. Lisbet a imaginé, pour foncer sous stot, un artifice qui remédie à ces deux inconvénients. Il établit à travers l'épaisseur du stot deux tubes en fonte, dont l'un laisse passer les vases d'extraction tirés par la machine d'extraction établie au jour, et dont l'autre sert au retour d'air.

La mine de Marles a réalisé la même idée avec quelques modifications d'exécution.

Il ne nous reste plus à examiner que le dernier chapitre relatif aux méthodes d'exploitation proprement dites.

Les progrès des dernières années ont porté surtout sur les gisements puissants et particulièrement sur les grandes couches. On ne savait pas autrefois enlever toute la matière utile. On en laissait la

moitié et souvent davantage et encore ne pouvait-on assurer qu'à peu près la sécurité des ouvriers et la conservation du charbon.

Aujourd'hui on aménage plus habilement ces couches, on remblaie complètement ou en grande partie les excavations que l'on creuse, et l'on peut ainsi arracher toute la houille de la couche.

Pour cela on divise le gisement en bandes de deux à trois mètres d'épaisseur horizontales ou inclinées que l'on exploite successivement comme on le ferait pour une couche de cette épaisseur. On boise et l'on remblaie, soit à l'aide des parties stériles du gisement, soit par des terres provenant d'éboulements que l'on provoque à dessein, soit encore au moyen de matériaux envoyés du jour.

L'ouvrage décrit successivement les méthodes par piliers longs de Sarrebruck, par panneaux de Kœnigsgrube et de Bézenet, par rabatage de Montrambert et de Bézenet, par tranches inclinées de Montrambert et de Blanzy et par tranches horizontales de Montrambert et de la Béraudière.

Tel est en résumé le nouveau traité d'exploitation qui vous est présenté. Cet utile ouvrage mérite vos encouragements, je suis assuré d'être votre interprète en présentant ici à M. A. Evrard vos remerciements et vos félicitations.

Détail des figures de la planche 142.

Figures 45. Dog-cart charrette, exposé par M. Rousseau, de Paris.
46. Charrette (vue de côté), exposée par M. Kolber, de Buda-Pesth.
— 47. Charrette (vue en bout), exposée par M. Kolber, de Buda-Pesth.
— 48. Cab, exposé par M. Geibel, de Paris.
49. Duc, exposé par M. Levacher, de Rouen.
— 50. Duc, exposé par M. O. de Ruytter, de Bruxelles.
— 51. Spider, exposé par MM. Peters et fils, de Londres.
— 52. Buggy, exposé par M. Brewster, de New-York.
— 52 *bis*. Phaéton, exposé par M. Brewster, de New-York.
— 53. Phaéton, exposé par MM. Jacobs et fils, de Philadelphie.
— 54. Phaéton, exposé par M. Thorn, de Norwich.
— 55. Victoria, exposée par M. Markoff, de Moscou.
— 56. Mylord, exposé par M. Planté, de Pau.
— 57. Mylord, exposé par M. Charcot, de Paris.
— 58. Cab français, exposé par M. Kellner, de Paris.
— 59. Coupé, exposé par M. Desouches, de Paris.
— 60. Calèche à huit ressorts, exposée par M. Binder, de Paris.
— 61. Landau, exposé par MM. Faurax frères, de Lyon.
— 62. Landau à huit ressorts, exposé par M. Binder aîné, de Paris.
— 63. Landau à cinq glaces, exposé par M. Boulogne, de Paris.
— 64. Landau à cinq glaces, à parallélogramme, exposé par M. Rebut, de Paris.
— 65. Coupé trois-quarts à panneaux et à glaces mobiles, système brev. s. g. d. g. de G. Anthoni, exposé par M. Charcot, de Paris.
— 66. Mail-coach, exposé par MM. Million et Guiet, de Paris.
— 67. Omnibus à six places, exposé par M. Jeantaud, de Paris.
— 68. Omnibus à trois chevaux et à quarante places, exposé par la Compagnie des Omnibus de Paris.
— 69. Chariot pour matériel de guerre, exposé par MM. Sabon et Renault, de Paris.
— 70. Moyeu à rais entrelacés.
— 71. Moyeu, exposé par M. Seidle.
— 72. Jante creuse garnie de caoutchouc, de M. Surrey.
— 73. Bandage garni de caoutchouc, de M. F. Mulliner.
— 74. Bandage garni de caoutchouc, de MM. Jeantaud et Menier.
— 75. Vélocipède, de MM. Renard frères.
— 76. Tricycle, de MM. Haynes et Jefferis.
— 77. Marchepied garni de caoutchouc.
— 78. Le même (vu en dessous).
— 79. Système Rock, pour le relevage automatique des capotes de landau.
— 80. Ressort agissant sur l'arbre qui relie les compas, système Belvallette.
— 81. Essieu patent à battement élastique, avec bagues coniques et double tasseau en caoutchouc, système brev. s. g. d. g. de G. Anthoni.

PARIS.— IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET ET AOUT 1879)

N° 54

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Déphosphoration* (Note sur les Essais récents de), par M. Ferdinand Gautier. (Séance des 4, 18 juillet et 1er août, pages 668, 694 et 712.)

2° *École centrale* (Histoire de l'), ouvrage de M. de Comberousse. (Séance du 18 juillet, page 693.)

3° *Chemin de fer de la Pointe-à-Pitre.* (Séance du 18 juillet, page 694.)

4° *Saint-Gothard* (Tunnel du), par M. Gaudry. (Séance du 18 juillet, page 694.)

5° *Machine à vapeur* (communication de M. Quéruel sur les résultats obtenus dans le fonctionnement d'une nouvelle.) (Séance du 18 juillet, page 699.)

6° *Produits bruts des Usines à l'Exposition de* 1878, en ce qui concerne le matériel fixe de la voie des Chemins de fer, par M. Hallopeau. (Séance du 18 juillet, page 706).

7° *Détendeurs à vapeur*, par M. Grelley. (Séance du 1er août, page 714.)

8° *Registre automatique appliqué aux foyers de Générateurs à vapeur*, par M. de Bonnard. (Séance du 1er août, page 717).

9° *Résistance des trains à la traction sur les petits chemins de service en usage dans les mines* (Analyse du mémoire de M. Alfred Evrard sur la), par M. Brüll. (Séance du 1er août, page 719.)

10° *Enfoncement des pieux*, par M. Brüll. (Séance du 1er août, page 720.)

11° *Télémètre de poche*, de M. Gaumet, présenté par M. Brüll. (Séance du 1er août, page 722.)

12° *Campylomètre*, par M. Gaumet. (Séance du 1er août, page 726).

13° *Décès* de M. Émile Favre. (Séance du 1er août, page 729).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. de Cuyper, professeur à l'Université de Liége : 1° un exemplaire de sa notice sur l'*Enseignement technique en Italie ;* 2° un exemplaire de sa notice sur les *Universités royales en Italie.*

De la Société technique de l'Industrie du gaz en France, un exemplaire du compte rendu du cinquième Congrès tenu à Paris, le 24 juin 1878.

De M. Deligny, membre de la Société, un exemplaire de son contre-projet de réseau urbain du *Chemin de fer métropolitain.*

De M. Gottschalk, membre de la Société, un exemplaire d'un rapport de M. le chevalier de Pischof, intitulé : *Beitrage zur Beleuchtung der allgemeinen verhaltnisse der osterreichischen Eisenbahnen.* Considérations sur le développement des chemins de fer d'Autriche.

De l'Académie royale des sciences, lettres et arts, de Modène, un exemplaire du volume XVIII de ses Mémoires.

De M. de Comberousse, membre de la Société, un exemplaire de son *Histoire de l'Ecole centrale des arts et manufactures.*

De M. Testud de Beauregard, un exemplaire de sa brochure sur la *Révolution industrielle.*

De M. Prosper Brouniceau, un exemplaire de sa notice sur le *Canal interocéanique* (*Nicaragua et Panama*).

De M. Delcourt, ingénieur en chef du génie maritime, un exemplaire

de son rapport sur l'*Amélioration des canaux, leur exploitation par réseaux* (analyse de l'ouvrage de M. Finet), et un exemplaire de la préface de la seconde édition de l'ouvrage de M. Finet, ingénieur, sur l'*Exploitation des canaux et voies navigables*.

De M. Agudio, membre de la Société, un exemplaire de sa notice intitulée : *Il sistema Agudio per uncere le forti pendenze coi Treni ordinari delle Ferrovie.*

De M. Jules Flachat, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur les *Voies de chemins de fer sur chaussées empierrées ou pavées.*

De M. Evrard (Alfred), membre de la Société, une Note sur la *Résistance des trains à la traction sur les petits chemins de service en usage dans les mines.*

De M. Lucien de Puydt, ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée la *Vérité sur le canal interocéanique de Panama.*

De M. Fromentin, un exemplaire d'une notice sur son *Alimentateur automoteur à niveau constant.*

De M. Wazon, ingénieur, un exemplaire de sa notice sur l'*Architecture navale, carènes rapides à ondulation naturelle.*

De M. Helson (Charles), membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur le *Transport mécanique des minerais dans la région du Canigou.*

De M. Sergueeff, membre de la Société, un exemplaire de son Rapport sur le *Travail de la laine cardée* à l'Exposition universelle de 1878.

De M. Toni Fontenay, membre de la Société, un exemplaire d'une Notice sur la *Fabrication et l'emploi des ciments.*

De M. Yvon Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur la *Théorie du pendule simple à oscillations coniques, en ayant égard à la rotation de la terre.*

De M. William Grosseteste, ingénieur, un exemplaire de son Rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse, sur le *Prix Émile Dollfus*, décerné à M. Gustave Hirn.

Académie royale des Lincei, son bulletin.

Academia di Scienze, Lettere ed Arti, son bulletin.

Academy american of arts and sciences, son bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne.

Annales industrielles, par Cassagne.

Annales des ponts et chaussées.

Annales des mines.

Annales du Génie civil.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.

Annales de la construction (Nouvelles), par Oppermann.

Annales des chemins vicinaux.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, son bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, son bulletin.

Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, son bulletin.

Association des Ingénieurs industriels de Barcelone, son bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine.

Canadian Journal of science, litterature, and history.

Chronique (La) *industrielle*, Journal technologique hebdomadaire.

Comité des forges de France, son bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Courrier municipal (Journal).

Dingler's Polytechnisches (Journal).

Écho Industriel (Journal).

Économiste (L') (Journal).

Encyclopédie d'architecture.

Engineer (*The*) (Journal).

Engineering (Journal).

Engineering News an Illustrated Weekly (Journal) (de Chicago).

Gazette des Architectes (La).

Gazette du Village (La).

Institution of civil Engineers, leurs *Minutes of Proceedings*.

Institution of Mechanical Engineers, son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, leurs *Transactions*.

Iron of science, metals et manufacture (Journal).

Iron and Steel Institute (*The Journal of The*).

Journal d'Agriculture pratique.

Journal des Chemins de fer.

Houille (*La*) (Journal).

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, leur bulletin.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, son bulletin.

Mondes (*Les*) (Revue).

Moniteur des chemins de fer (Journal).

Moniteur industriel belge (Journal).

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture (Journal).

Moniteur des travaux publics (Journal).

Of the American Society of Civils Engineers (Journal).

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Journal).

Politecnico (*Il*) *Giornale dell' ingegnere Architetto civile ed industriale.*

Portefeuille économique des machines, par Oppermann.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, leur bulletin.

Propagateur (*Le*) *de l'Industrie et des Inventions* (Journal).

Réforme économique (Revue).

Revue métallurgique (*La*) (Journal).

Revue des chemins de fer et des progrès industriels.

Revue maritime et coloniale.

Revue d'architecture.

Revista de obras publicas.

Revue des Deux-Mondes.

Revue horticole.

Revue générale des chemins de fer.

Revue technique polonaise.

Revue universelle des mines et de la métallurgie.

Revue des Industries chimiques et agricoles.

Semaine des constructeurs (*La*) (Journal).

Semaine financière (Journal).

Société de Physique, son bulletin.

Society of télégraph Engineers (Journal of the), leur bulletin.

Société des Ingénieurs anglais, leurs *Transactions.*

Société industrielle de Reims, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société industrielle de Mulhouse, son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, son bulletin.

Société d'encouragement, son bulletin.

Société de géographie, son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, son bulletin.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, son bulletin.

Société scientifique industrielle de Marseille, son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, son bulletin.

Société royale des Sciences de Bohême (à Prague), son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, Revue périodique.

Société industrielle de Rouen, son bulletin.

Société technique de l'Industrie du gaz en France, son bulletin.

Société des Études coloniales et maritimes, son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, son bulletin.

Société de géographie de Marseille, son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu.

Union des charbonnages, mines et usines métallurgiques de la province de Liége, son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de juillet :

MM. Cosnard, présenté par MM. Barrault, Mathieu (Henri) et Quéruel.
Fargue, présenté par MM. Desnoyelles, Dumont et Moreau.
Maus, présenté par MM. Lecherf, Masure et Vellut.
Piarron de Mondésir, présenté par MM. Farcot (Joseph), Lavalley et Molinos.

Au mois d'août :

MM. Bocquet, présenté par MM. Donnay, Mallet et Yvon Villarceau.
Dagosta, présenté par MM. Ellisen, Jordan et Marché.
Dargent, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Grébus.
Huber, présenté par MM. Bourdais, Chabrier et Mouchelet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

IVe BULLETIN DE L'ANNÉE 1879

Séance du 4 Juillet 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juin est adopté.

M. Gautier (Ferdinand) donne communication de sa note sur les *Essais récents de déphosphoration.*

La *déphosphoration* est un problème de grande importance en métallurgie.

A la dose de *un pour cent*, le phosphore communique à la fonte une grande fusibilité, précieuse dans la fonderie sans doute, mais accompagnée malheureusement d'une fragilité non moins grande.

Un demi pour cent rend le fer plus malléable à chaud, plus facile à souder; mais le nerf du métal est remplacé par un grain plat, sans aucune résistance.

Dans l'acier moyennement carburé, *un millième* seulement rend le laminage impossible, empêche la trempe, donne un métal cassant et impropre à tout usage.

Je n'insisterai pas sur ces inconvénients du phosphore, ils sont connus de vous tous, il me suffira de les rappeler en passant.

Malheureusement, le phosphore est très commun dans les minerais de fer. Les plus abondants sont les plus pauvres, mais ce sont aussi les plus phosphoreux. Ces minerais sont caractérisés en général par *un demi pour cent de phosphore accompagnant environ trente pour cent de fer*. Il en résulte des fontes, qui renferment de 1,5 à 2 pour 100 de phosphore.

Dans les minerais, le phosphore est généralement à l'état de phosphate de chaux ou d'alumine. Ces phosphates sont indécomposables par la chaleur, irréductibles par le charbon ou l'oxyde de carbone. Pour que l'acide

phosphorique soit déplacé; il faut la présence de la silice, qui forme un silicate terreux et permet alors au carbone, ou à l'oxyde de carbone, d'exercer leur action réductrice et de mettre le phosphore en liberté. Dans le haut fourneau, et en présence d'un excès de fer, ces réactions aboutissent finalement à la production de phosphure de fer qui se dissout dans la fonte. Le phosphore est-il à l'état de phosphate métallique, la réduction en phosphure peut se faire sans l'intervention de la silice et à une température plus basse.

C'est ainsi que *tout le phosphore du lit de fusion, minerai, castine, combustible, se concentre dans la fonte* et c'est tout au plus si, dans une allure très froide, on retrouve dans les laitiers des traces de ce dangereux métalloïde.

On comprend qu'en présence de cette accumulation fatale du phosphore dans la fonte, qui est la matière première de l'Industrie du fer et de l'acier, on ait cherché l'épuration du minerai.

Je vous entretenais, il y a quelques années, d'essais de déphosphoration, dont j'avais été témoin dans une usine de Bohême. A Kladno, on cherchait à dissoudre le phosphate de chaux et d'alumine du minerai en lessivant par une dissolution d'acide sulfureux. On ne parvenait qu'à une épuration de 70 pour 100 environ, avec des frais supérieurs à 30 francs par tonne de fonte. C'était, en résumé, un procédé encombrant et peu pratique, qui est retombé dans l'oubli.

Que faire, alors? S'attaquer directement à la fonte.

Pour mieux juger des progrès réalisés, il convient de se reporter un peu en arrière et de passer en revue les différentes méthodes employées.

Déphosphoration au puddlage. — Sur une sole en fonte recouverte d'oxyde de fer, on maintient de la fonte à l'état liquide, dans un four à réverbère. L'action oxydante produite par le contact de l'oxyde de fer, par l'oxygène libre des gaz du foyer et par l'air, que laissent passer les portes, est encore facilitée par un brassage énergique, qui renouvelle les surfaces. Voilà le travail du *puddlage*.

Les corps les plus oxydables, le silicium, le manganèse, passaient les premiers dans la scorie. Quant au phosphore, dont l'élimination finale atteignait communément 60 pour 100, on admettait bien qu'il se transformait en partie en phosphate de fer, mais on attribuait surtout son élimination à la *liquation*. Quand le fer se débarrasse des éléments étrangers qu'il dissolvait, il devient moins fusible et passe à l'état solide au milieu de la scorie liquide qui l'environne. C'est à ce moment qu'on admettait la plus grande épuration dans le puddlage.

La liquation joue certainement un rôle important; mais *le fait seul de la fusion de la fonte, au contact de l'oxyde de fer de la sole, constitue déjà une déphosphoration de 40 pour 100*. C'est un point sur lequel je veux attirer un instant votre attention, car il jette un certain jour sur les procédés que nous étudierons ensemble plus tard.

Nous voyons dans les études scientifiques de M. Snelus, sur le puddlage mécanique de Danks, les résultats suivants :

DÉSIGNATION.	POUR CENT.	FONTE PRIMITIVE.	FONTE FONDUE.	FER PUDDLÉ.
Fonte Staffordshire (grise).	Carbone.....	2.74	2.55	traces.
	Silicium.....	2.25	0.92	traces.
	Phosphore...	0.63	0.35	0.24
Fonte Cleveland (grise).	Carbone.....	3.18	2.83	traces.
	Silicium.....	1.20	0.80	traces.
	Phosphore...	1.49	0.91	0.46
Fonte scorie (blanche).	Carbone.....	2.30	1.30	traces.
	Silicium.....	0.89	0.18	traces.
	Phosphore...	2.17	0.86	0.38

C'est un fait que j'ai vérifié également, en faisant fondre de la fonte phosphoreuse de la Moselle, sur la sole d'un four, et la puddlant ensuite.

Fonte primitive.	1,65 °/₀ de phosphore.	
Fonte fondue.	0,90	—
Fer puddlé.	0,64	—

La déphosphoration totale est de 61 pour 100, mais elle est de 46 pour 100 déjà, par le fait de la fusion sur la sole en oxyde de fer; 15 pour 100 seulement sont dus à l''oxydation ultérieure et à la liquation.

Déphosphoration spéciale dans le puddlage des fontes manganésées. — Quand le puddlage a pour objet, non pas de produire du fer quelconque, bon ou mauvais, mais un fer tout spécialement épuré, on y arrive par l'adjonction du manganèse. C'est une industrie toute récente, qui a pris naissance en Belgique, d'où elle s'est répandue ensuite en Allemagne et dans une partie de la France.

A la fonte phosphoreuse, dont on dispose, on ajoute de la fonte spéculaire (*spiegel eisen*) de manière à avoir dans le mélange, 2 à 3 pour 100 de manganèse ; puis on puddle à bonne température. La présence du manganèse retarde l'affinage, augmente le nombre de crochets qu'il faut passer dans la fonte; le nombre de charges par douze heures, pour un four à deux hommes, tombe de 8 ou 9 à 4 seulement et le produit sorti s'abaisse de 1,500 kilog. à 800. Le déchet n'est pas très fort, parce qu'il est masqué par une consommation considérable de ferraille pour l'entretien de la sole. Mais la déphosphoration est énergique et peut atteindre 97 pour 100 : avec une fonte à 1,6 pour 100, qui, sans manganèse, donnerait du puddlé à

,6 ou 0,7, on obtient souvent du fer qui ne renferme que un demi-millième de phosphore, comme le montre le tableau suivant :

DÉSIGNATION.	FONTE PRIMITIVE.	FONTE FONDUE.	FER PUDDLÉ.
Carbone.	3.5	3.3	0.15
Silicium.	1.1	0.3	traces.
Manganèse.	2.6	0.6	0.06
Phosphore.	1.6	0.5	0.05

La simple fusion de la fonte a amené une déphosphoration encore plus grande que dans les exemples précédents.

En résumé, c'est une épuration très satisfaisante, mais c'est excessivement cher et ne peut viser que la satisfaction de besoins tout spéciaux.

Le procédé Heaton a fait un certain bruit en Angleterre, il y a une dizaine d'années et a été, de la part de M. Gruner, l'objet d'études très complètes et très intéressantes.

Dans une cuve cylindrique en tôle, garnie de terre réfractaire, on verse de la fonte liquide. Le fond de cette cuve est une plaque de fonte percée de trous, ou mieux une feuille de tôle de 4 millimètres, destinée à être fondue au contact de la fonte liquide, qui tombe alors dans une sorte de chaudron renfermant du nitrate de soude. Ce sel est décomposé instantanément, il se produit des composés oxygénés de l'azote, qui traversent la colonne de fonte liquide et lui font subir en quelques instants une épuration énergique. Une fonte à 1,5 pour 100 de phosphore, donnait un produit demi-solide, ayant encore de 0,6 à 0,9 de phosphore, 0,14 à 0,16 de silicium. Ce n'était plus de la fonte, car la décarburation était notable, et ce n'était pas non plus du fer ou de l'acier. Le déchet n'était que de 5 à 6 pour 100, mais la dépense en nitrate devait être de plus de 10 pour 100 pour obtenir des effets fructueux. En résumé, le procédé était incomplet, coûteux et ne pouvait que fournir la matière première à la fabrication Martin-Siemens de l'acier sur sole ; aussi ne fut-il pas appliqué.

Ici s'arrête l'exposé des moyens de déphosphoration mis à la disposition des métallurgistes jusqu'à ces dernières années.

Au *Bessemer*, non seulement on n'obtenait aucune épuration, mais on avait, au contraire, une concentration du phosphore en proportion du déchet. C'est ainsi, qu'avec de la fonte du Cleveland à 1,46 pour 100, M. Lowthian-Bell a obtenu de l'acier à 1,62 pour 100 de phosphore, et qu'aux aciéries d'Eston, on a produit avec la même fonte de l'acier à 1,77 pour 100 de phosphore.

Dans le procédé *Martin-Siemens*, qui produit de l'acier sur sole, en fondant au four à réverbère un mélange de fonte et de riblons de fer ou d'acier, on a la même concentration du phosphore.

D'où vient donc cette anomalie?

La déphosphoration n'a pas encore sa théorie complète, mais on s'accorde plus ou moins à reconnaître que plusieurs conditions concourent à produire l'épuration.

1° *Action oxydante*, pour transformer le phosphore en acide phosphorique;

2° *Scorie basique*, pour permettre d'absorber la silice, que l'on rencontre forcément dans toute opération métallurgique, et faciliter la combinaison de l'acide phosphorique produit.

3° *Liquation*, ou séparation du produit solide, d'avec les scories phosphoreuses provenant de l'affinage et s'écoulant à l'état liquide.

4° Enfin, la *température*, à laquelle, dans ces derniers temps, on attribuait une certaine influence, soit que son élévation décomposât les phosphates produits, soit plutôt que l'affinité de la silice pour les bases en fût vivement exaltée et remît le phosphore en liberté.

Toutes ces conditions n'avaient certainement pas une influence égale, mais chacune d'elles semblait en avoir une.

Dans le puddlage, nous rencontrons une *action oxydante* énergique, produite, tant par l'action du peroxyde de fer, qui constitue le garnissage, que par la scorie peroxydée sous l'influence de l'oxygène libre contenu dans les produits de la combustion. Les entrées d'air par les portes sont une autre cause d'oxydation qu'il ne faut pas oublier. *L'état basique* de la scorie n'est pas douteux, puisque la sole du four est entièrement en oxyde de fer et que la scorie en présence renferme communément 10 à 12 pour 100 de silice et rarement plus de 20 pour 100. Quant à la *liquation*, elle est caractéristique de cette opération; on y a même attaché une importance peut-être exagérée, dans l'explication de l'élimination du phosphore; on a été jusqu'à dire que le fer pur se formait au milieu des scories phosphoreuses, comme la glace, pure de sel, se forme par la congélation de l'eau de mer. La *température*, au puddlage, est relativement peu élevée; on a reconnu d'ailleurs que, dans le traitement de certaines fontes très phosphoreuses, il était important, pour obtenir une bonne épuration, de n'avoir pas une chaleur trop intense. Nous voyons donc, qu'au puddlage, toutes les conditions reconnues plus ou moins nécessaires à la déphosphoration sont largement remplies et font de ce procédé un mode énergique d'épuration.

Dans le procédé *Heaton*, que trouvons-nous? L'*action oxydante*, quoique de courte durée (elle était de 2 à 5 minutes seulement), a ici une intensité toute particulière; c'est de la métallurgie explosive, instantanée, utilisant l'oxygène à l'état naissant, ou, faiblement combiné à l'azote dans des produits aisément dissociables. La *scorie est basique*, car elle renferme au minimum 30 pour 100 de soude, dont les affinités sont puissantes, et 10 à 20 pour 100 d'oxyde de fer; mais il y a quelquefois 54 pour 100 de silice. Le produit étant pâteux et demi-liquide seulement, il y a une sorte de *liquation*, qui ne se montre bien d'ailleurs que lorsqu'on réchauffe et qu'on

martèle le métal spongieux tout imprégné de scories. Enfin, la *température* est relativement basse et ne permettrait certainement pas aux phosphates produits de se décomposer, soit par la chaleur seule, soit par l'exaltation des affinités basiques de la silice. Voilà certainement un ensemble de conditions favorables, qui explique suffisamment le caractère épurateur de ce procédé.

Il n'en serait plus de même, si nous considérons l'opération Bessemer. Si l'*action oxydante* est d'une intensité extraordinaire, par contre, les *scories* y sont *silicieuses*, renfermant de 40 à 50 pour 100 de silice, qui provient, tant du silicium de la fonte que du garnissage essentiellement siliceux de l'appareil. De *liquation*, il ne faut pas parler, puisque le produit est éminemment liquide, comme la scorie qui le recouvre. Quant à la *température*, elle est excessivement élevée; et on pouvait raisonnablement croire jusqu'ici qu'elle fût suffisante pour empêcher toute combinaison stable de l'acide phosphorique avec la scorie.

Ces conditions, que nous retrouvons dans le procédé *Martin-Siemens*, avec une action oxydante plus faible, ne constituaient certainement pas un ensemble satisfaisant au point de vue de la déphosphoration et l'on ne s'étonnait guère que l'épuration fût nulle dans l'un et l'autre de ces procédés de fabrication d'acier.

On peut même aller plus loin et dire que la plupart des métallurgistes sérieux étaient arrivés à *désespérer de la déphosphoration* appliquée à l'acier.

En présence de ces difficultés, que, ni la chimie, ni l'empirisme, ne semblaient pouvoir surmonter, on avait accueilli avec intérêt une solution détournée et incomplète, qui permettait de laisser subsister dans l'acier une proportion de phosphore cinq à six fois plus considérable que ce que l'on admettait jusqu'à présent comme possible.

M. Euverte vous a expliqué, Messieurs, il y a quelques années, comment, grâce à l'emploi du *ferromanganèse*, réducteur plus concentré et plus énergique que le spiegel, on pouvait enlever l'oxydation finale du bain métallique au Bessemer, comme au Martin, sans introduire dans l'acier une aussi grande quantité de carbone. Il vous a montré également comment la diminution du carbone permettait de laisser subsister jusqu'à trois et quatre millièmes de phosphore, sans cesser de réaliser un produit suffisant pour les rails de chemins de fer. C'était un vaste champ ouvert à l'emploi des rails de fer pour leur transformation au four Martin-Siemens en *rails phosphoreux* d'un bon usage, mais ce n'était pas la déphosphoration des fontes impures.

Voilà, Messieurs, quel était le bilan du passé dans la question si importante qui fait l'objet de cette communication.

Arrivons au présent.

Nous le diviserons en deux :

Opérations déphosphorantes sans élimination du carbone, ou MAZÉAGES ÉPURATEURS.

FABRICATION DE L'ACIER *avec fontes phosphoreuses.*

1° Mazéages épurateurs.

M. Lowthian Bell, auquel ses nombreux et intéressants travaux sur les hauts fourneaux ont fait une réputation de premier ordre, a obtenu des résultats remarquables dans la déphosphoration des fontes de Clarence, dont les limites de composition extrêmes sont les suivantes :

Carbone	3,670 à 3,20
Silicium	2,810 à 1,50
Soufre	0,102 à 0,02
Phosphore	1,930 à 1,08

Ce sont des fontes faites avec des minerais de Cleveland sans mélange d'autres provenances.

Nous avons vu qu'en traitant au Bessemer de la fonte de Clarence à 1,46 pour 100 de phosphore, M. Bell avait obtenu de l'acier qui en renfermait à 1,62 pour 100, le garnissage du convertisseur étant en *gannister*, ou silice presque pure.

Avec le même garnissage et une addition de 30 pour 100 d'oxyde de fer pur, mélangé à de la scorie fondue, il n'obtint pas un résultat meilleur. Il y eut un bouillonnement intense avec projections, mais pas de déphosphoration. Cherchant à se rendre compte de cet insuccès, M. Bell l'attribua au contact imparfait de la fonte et de l'oxyde de fer, et opéra autrement.

Dans le même convertisseur, il souffla de la fonte au delà du point d'arrêt ordinaire des opérations Bessemer, jusqu'à oxyder 25 pour 100 du fer. Il espérait ainsi, par cet oxyde de fer à l'état naissant, agir plus énergiquement et obtenir un contact plus intime avec le bain métallique. On constata, comme seul résultat, une augmentation de 24,8 pour 100 dans la proportion du phosphore, qui s'était ainsi concentré dans le produit, en rapport exact avec le déchet.

Renonçant alors à attaquer ainsi directement la production de l'acier avec les fontes phosphoreuses, M. Bell se tourna d'un autre côté. L'insuccès au Bessemer lui semblait dû principalement à l'élévation de la température, qui amenait sans doute la décomposition du phosphate de fer au fur et à mesure qu'il se produisait.

Il fit traiter à la mazerie de Bowling une certaine quantité de ses fontes et obtint le résultat suivant :

	FONTE primitive.	FONTE mazée.
Carbone	3,12	2,50
Silicium	2,80	0,12
Soufre	0,11	traces
Phosphore	1,47	0,84

C'est une déphosphoration de plus de 40 pour 100. En analysant le phé-

ıomène, on voit que cette opération a eu lieu dans un vase à parois de onte refroidies par un courant d'eau et sous l'action d'un soufflage oxydant ıvec une température peu élevée. Comme la scorie de mazéage ne renferme guère que 25 à 30 pour 100 de silice, on pouvait raisonnablement attribuer à l'oxyde de fer qu'elle renferme en grande quantité, une action importante dans la déphosphoration.

En faisant couler lentement, à travers une colonne d'oxyde de fer fondu, de la fonte prise à un des fourneaux de Clarence, M. Bell obtint des résultats analogues à ce qu'avait donné le mazéage :

	FONTE.	FONTE ayant traversé l'oxyde de fer.	FONTE mazée.
Carbone.	3,305	2,731	2,500
Silicium.	2,163	0,028	0,120
Soufre.	0,102	0,056	traces
Phosphore.	1,515	0,838	0,840

Employant alors le puddleur mécanique Godfrey et Howson, qui se compose, comme on sait, d'une sorte de petit convertisseur pouvant tourner sur lui-même ou s'incliner à volonté, et qui est chauffé par un jet de gaz qui pénètre par l'orifice, M. Bell fit de nombreuses expériences de traitement des fontes de Clarence. Le garnissage était en oxyde de fer, dont la composition a varié, ainsi que l'oxyde fondu ou simplement chauffé que l'on ajoutait. Voici un des résultats obtenus :

	FONTE primitive.	FONTE après traitement.
Phosphore.	1,50	0,23
Silicium.	2,06	0,10

L'épuration était fort satisfaisante, comme on le voit; mais, tout en étant le maître de la température, on rencontrait, dans la faible capacité du vase, des causes de projections qui firent renoncer à l'appareil.

Pour ses derniers essais, M. Bell imagina un four oscillant, ayant la forme d'un cylindre de 4 mètres de long avec 1 mètre de diamètre. Une cloison longitudinale le séparait en deux et servait de chicane pour assurer le déversement de la fonte liquide, et son contact avec l'oxyde de fer fondu à chaque mouvement de l'appareil. En dix minutes, une charge de 700 kilogrammes de fonte subissait soixante à quatre-vingts oscillations. On arrêtait l'opération quand on apercevait des bulles d'oxyde de carbone traversant la masse liquide et venant brûler à la surface sous forme de flammèches bleues. Comme dans les essais précédents, la nature de l'oxyde de fer fut variée, et M. Bell réussit, même avec du minerai de Cleveland grillé, à produire une déphosphoration remarquable. Le déchet était de 0 à 2 1/2 pour 100.

Voici, d'après les renseignements de l'auteur, quelques résultats obtenus :

	FONTE Avant.	FONTE Après.
Carbone.	3,5	3,25 à 2,75
Silicium.	1,7	0,5 à 0,20
Phosphore.	1,5	0,1 à 0,05

C'est, sans aucun doute, une fort belle déphosphoration sans décarburation notable; le produit est de la fonte purifiée, que l'on peut couler pour l'employer ultérieurement à la fabrication de l'acier sur sole. C'est ce qui a été fait à l'arsenal de Woolwich, et les produits vraiment remarquables, qui ont valu à M. Bell une haute récompense à l'Exposition universelle de 1878, avaient été obtenus de cette manière.

Sans prétendre avoir résolu complètement la question de l'appareil le plus convenable, M. Bell a arrêté momentanément ses recherches si intéressantes.

MM. *Narjes* et *Bender*, ingénieurs des aciéries d'Essen, ont mis en pratique un procédé de *mazéage épurateur* dont le brevet a été pris par la maison *Krupp*.

La fonte est fondue dans un cubilot, mais elle pourrait avec avantage être prise au haut fourneau. Sur la sole inclinée d'un four tournant, analogue au four Pernot, et chauffé par le système Siemens, est un garnissage en oxyde de fer. On n'a pas de détails sur l'agglomération de cet oxyde de fer, mais il est facile d'imaginer qu'on puisse l'obtenir par un coup de feu à une température plus élevée que celle à laquelle se fera le travail ultérieur. On forme, en outre, un bain épurateur, en fondant plus ou moins complètement sur cette sole une certaine quantité de minerai de fer, naturellement d'une teneur moyenne en silice. Ce bain a une épaisseur de 30 centimètres environ. On coule par-dessus la fonte à épurer et on tourne, lentement d'abord, à une vitesse de deux tours seulement par minute, que l'on porte ensuite à cinq tours; le mouvement est donné par une machine de six chevaux, qui se trouve un peu faible pour ce travail.

Suivant M. Wedding, professeur à l'École des Mines de Berlin, l'opération ne dure jamais plus de dix minutes pour une charge de 4 tonnes de fonte. Comme dans les dernières expériences de M. Bell, on arrête l'opération quand on aperçoit un dégagement d'oxyde de carbone. Le déchet est variable. Faible en général, il est quelquefois nul, par suite de la réduction d'une partie de l'oxyde employé, sous l'action du silicium et peut-être du phosphore. On pourrait traiter ainsi 80 tonnes par vingt-quatre heures avec une consommation de 7 à 8 tonnes de houille et d'une quinzaine de tonnes de minerai. On parle de 8 à 10 francs par tonne pour l'ensemble des frais de l'opération, mais il n'y a rien de sûr encore. Quant à

la déphosphoration, elle est de 75 à 80 pour 100, et serait facilitée par la présence d'un peu de manganèse.

FONTE.	CARBONE.		PHOSPHORE.	
	AVANT.	APRÈS.	AVANT.	APRÈS.
A............	3.17	3.02	1.220	0.303
B............	3.90	3.75	0.630	0.131
C............	3.81	3.56	0.450	0.108

Cette industrie ne marche dans l'usine d'Essen que pour la démonstration du procédé, ou pour essayer les fontes des personnes qui veulent traiter. La Société des forges de Dillingen installe cette fabrication à Hussigny, près de Longwy, en France, et a disposé un haut fourneau, de manière que la fonte puisse se rendre directement dans l'appareil épurateur.

Il y a une certaine analogie entre les mazéages épurateurs de M. Bell et de MM. Narjes et Bender. Leur caractère commun est une déphosphoration sérieuse sans décarburation avancée. Nous n'avons rien dit de l'enlèvement du silicium à Essen, il est évidemment complet et empêche de traiter ultérieurement une semblable fonte au Bessemer.

Ces fontes mazées peuvent être employées utilement au puddlage pour l'amélioration du fer, ou, si la proportion de phosphore est suffisamment faible, on peut les utiliser au procédé Martin-Siemens, pour la fabrication des rails d'acier phosphoreux.

Pourquoi arrête-t-on l'opération au moment où commence la décarburation ? Il nous semble qu'il y a deux raisons : on n'améliorerait pas sensiblement le résultat obtenu, on le détruirait peut-être en partie par l'action réductrice de l'oxyde de carbone, comme nous l'expliquerons plus loin ; de plus, on aggraverait sensiblement les frais en voulant enlever le carbone ; d'ailleurs, l'appareil ne comportant pas, soit par sa sole, soit par sa température, les conditions nécessaires à la production de l'acier, on obtiendrait du fer.

2° Fabrication de l'acier avec fontes phosphoreuses.

Procédé Thomas et Gilchrist. — Deux jeunes gens, M. *Sidney Thomas*, chimiste, ne s'occupant de métallurgie qu'en amateur, et M. *Percy Gilchrist*, chimiste aux usines de Blaenavon (pays de Galles), et récemment sorti de l'École des mines de Londres, s'associèrent pour chercher la déphosphoration au procédé Bessemer.

Partant de l'idée qu'un garnissage basique était indispensable, ils réalisèrent un petit convertisseur pouvant traiter quelques kilogrammes de fonte. Ils l'avaient revêtu intérieurement de chaux agglomérée par du silicate de soude et obtinrent des résultats qui attirèrent l'attention de

M. Edward Martin, directeur de Blaenavon. Il les autorisa à construire un convertisseur de la capacité de 200 kilogrammes, qu'ils munirent du même garnissage basique. Pour absorber l'acide phosphorique produit, et préserver le revêtement de l'action destructive de la silice formée par l'oxydation du silicium de la fonte, ils employèrent des additions basiques variées, mais dont la chaux et l'oxyde de fer étaient les éléments. Ils essayèrent concurremment de pousser l'opération au delà de la décarburation, c'est-à-dire de sursouffler, et ils obtinrent ainsi une déphosphoration remarquable.

Ces expériences furent reprises à l'usine de Dowlais avec un convertisseur de dimensions industrielles pouvant traiter 5 à 6 tonnes de fonte. Les résultats obtenus précédemment furent confirmés, mais quelques accidents survenus au garnissage arrêtèrent ces essais, qui furent continués aux aciéries de Bolckow Vaughan, à Eston, près Middlesbro (Cleveland).

M. Windsor-Richards, directeur de cet établissement, imprima une vive impulsion aux recherches, avec la collaboration de MM. Thomas et Gilchrist.

Un garnissage en oxyde de fer, des additions d'oxyde de fer seul, sans mélange de chaux, ne réussirent pas; les réactions étaient trop vives et les opérations rendues impossibles par les projections et le bouillonnement. Il fallut revenir au garnissage terreux.

Un essai de fabrication de briques de dolomie montra toute la difficulté du problème. En pulvérisant cette matière, la malaxant avec de l'eau, moulant et soumettant à la cuisson, on constata un retrait de 33 pour 100 en volume et une perte de poids de 45 pour 100. Divers accidents survinrent : tantôt, l'inégalité de chauffage amenait des tiraillements dans la masse en cuisson et de nombreuses ruptures; tantôt, par suite de l'insuffisance de chaleur, les briques obtenues se délitaient à l'air, comme de la chaux; ou, d'autres fois, par un excès de chauffage, tout s'agglomérait ensemble et fondait avec le four. Ils réussirent cependant à résoudre cette première partie du problème. Il semble d'ailleurs que cette question du garnissage ait plusieurs solutions satisfaisantes.

M. Gilchrist recommande la composition suivante :

Silice	10
Alumine et oxyde de fer	4 à 6
Magnésie	30
Chaux	54 à 56.

Les briques employées dans les opérations que nous avons suivies à Eston avaient la composition suivante, qui diffère notablement :

Silice	9,50
Alumine	10,00
Peroxyde de fer	4,46
Magnésie	21,50
Chaux	50,25
Soude	4,00.

C'est de la dolomie agglomérée au silicate de soude.

Enfin, M. Riley forme ainsi ses briques : il prend de la dolomie pulvérisée, qu'il malaxe avec du pétrole ou quelque huile minérale analogue, ce qui leur donne la composition suivante :

Silice	8,85
Alumine et oxyde de fer	4,00
Magnésie	35,00
Chaux	51,00

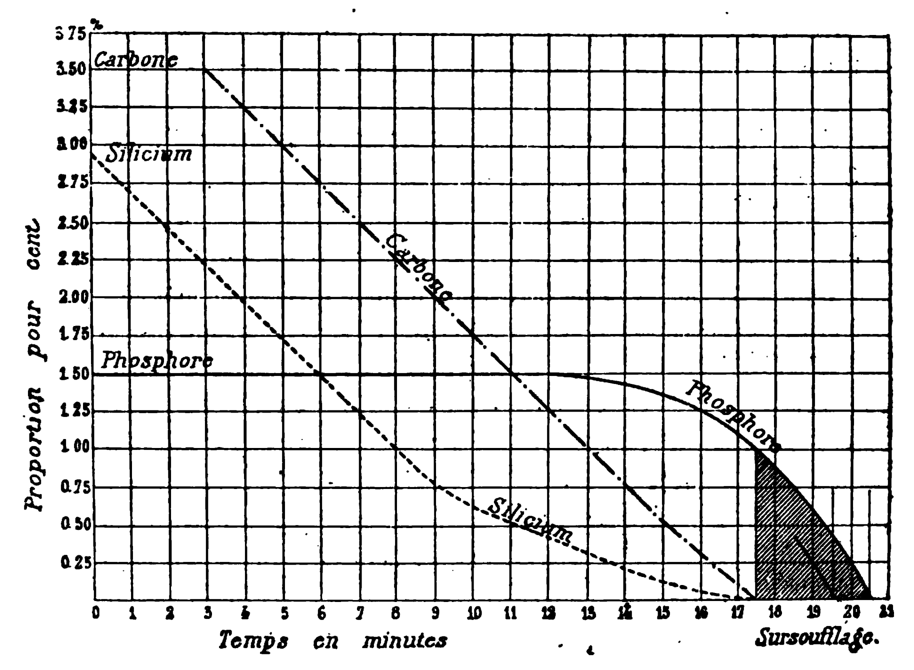
On peut aussi faire un pisé avec cette matière, en l'agglomérant avec le même liquide; ce qui donnerait, dit-on, de très bons résultats.

M. Richards a décrit, au meeting de l'*Iron and Steel Institute* de Londres, une opération faite à Eston, avec de la fonte Cleveland, et dont on avait suivi chimiquement les différentes phases. On opérait sur 6,000 kilogrammes, dans un convertisseur susceptible de contenir 8 tonnes. La fonte avait la composition suivante :

Silicium	3,0
Carbone	3,5
Phosphore	1,5

On fit, immédiatement après l'introduction de la fonte, une addition de 500 kilogrammes de chaux et, six minutes plus tard, une autre addition de 400 kilogrammes de chaux et de 300 kilogrammes d'oxyde de fer; ce qui fait un total de 1,200 kilogrammes, ou 20 pour 100 de matières froides.

L'opération dura 17 minutes, dont 9 pour la première période et 8 pour



la seconde. En prenant une série d'éprouvettes et les soumettant à l'analyse chimique, on fit une étude fort intéressante des changements de composition qui surviennent dans le courant de l'affinage. M. Richards construit un diagramme, dont les abscisses sont les fractions du temps que dure l'opération et les ordonnées, les quantités des différents éléments que renferme le métal.

On voit que le phosphore ne commence à s'éliminer que lorsque le carbone est réduit à 1 pour 100 et le silicium à 0,3. La partie couverte de hachures indique le *sursoufflage*, que les Anglais appellent *overblowing* ou *afterblowing*, c'est le soufflage qui a lieu après la décarburation totale caractérisée par l'évanouissement des raies du spectre. C'est une période dans laquelle il se produit abondamment de l'oxyde de fer, et l'on voit que c'est le moment où le phosphore s'élimine rapidement. Dans le cas représenté par ce diagramme le sursoufflage a duré 3 minutes, et dans ce court espace de temps, les 2/3 du phosphore ont été oxydés, tandis que l'autre tiers avait demandé le double de temps pour se scorifier.

M. Richards affirme que le métal, dont la déphosphoration avait été poussée au-dessous d'un millième, a supporté à la traction une charge de 70 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement de 25 pour 100 mesurés sur 200 millimètres de longueur.

Quant au déchet, il varie avec la déphosphoration que l'on cherche à obtenir, et oscille entre 18 et 20 pour 100. Quand on veut avoir moins de *un millième* de phosphore dans le métal, le déchet monte à 25 pour 100. La fonte pure ordinaire, celle du Cumberland, par exemple, ne donnerait que 15 pour 100.

Je donnerai maintenant le procès-verbal des deux opérations faites à Eston, le 13 mai 1870, devant les membres de l'*Iron and Steel Institute*.

Première opération. — On employait un convertisseur de 8 tonnes avec garnissage en briques basiques, dont nous avons donné la composition plus haut; c'était de la dolomie agglomérée au silicate de soude, garnissage moins durable peut-être, mais qui était préférable pour la démonstration du procédé.

On prit 5^t,800 de fonte Cleveland, fondue au cubilot, tous les hauts fourneaux étant arrêtés par suite de la grève des mineurs du Durham. Cette fonte avait la composition suivante :

Silicium..	3,030
Carbone..	3,200
Phosphore.	1,800
Soufre..	0,030
Manganèse.	0,450.

Immédiatement après l'introduction de la fonte, on versa à la brouette 1,200 kilogrammes d'une matière grisâtre, en morceaux deux fois gros comme des noix; elle provenait de la cuisson d'un mélange de carbonate

de chaux et de cet oxyde de fer pulvérulent (*Blue Billy*), qu'on obtient dans le traitement des pyrites grillées, dont on extrait le cuivre par la méthode Henderson. Cette matière était froide et se composait de :

Silice	1,00
Chaux	60,00
Peroxyde de fer	31,89
Acide carbonique	6,10

On ne pourrait la préparer longtemps d'avance, car elle se délite au bout de quelques jours, en absorbant l'humidité de l'air.

L'opération, suivie au spectroscope, donna une première période de 4 minutes et une seconde de 9 1/2. Après l'abaissement de la flamme, commença un sursoufflage de près de 3 minutes, et réparti de la manière suivante :

1° Sursoufflage d'une minute trois quarts ; on couche le convertisseur, on puise avec une sorte de cuiller, un échantillon de métal, que l'on coule dans une petite lingotière; on martèle ce petit lingot sous forme de rondelle d'un centimètre d'épaisseur, on le refroidit dans l'eau et on le casse sous le pilon. Le grain est gros, plat, brillant, comme celui du fer très phosphoreux, nous donnerons plus loin sa teneur en phosphore A_1.

2° Sursoufflage de 15 secondes et prise d'essai A_2.

3° Sursoufflage de 20 secondes et prise d'essai A_3.

Tous ces tâtonnements successifs avaient prolongé l'opération d'une vingtaine de minutes.

On procède ensuite à l'addition de 10 pour 100 de spiegel fondu au cubilot et ayant la composition suivante :

Manganèse	17
Phosphore	0,163.

L'introduction se fait en plusieurs fois, à cause de la réaction violente du carbone du spiegel sur l'oxyde de fer en dissolution dans le métal. Il se fait une flamme très développée, et il y a projection au dehors d'une partie de la scorie.

	Phosphore.
Fonte	1,800
A_1	0,597
A_2	0,360
A_3	0,110
Après spiegel	0,235

Ce métal laminé a la composition suivante :

Carbone	0,330
Manganèse	0,213
Phosphore	0,235
Soufre	0,073

Les lingots sont du poids de 6 à 700 kilogrammes. On en ébauche deux, qui se comportent assez bien et qu'on lamine en petits rails du poids de

20 kilogrammes le mètre. Ce profil est très facile à laminer, surtout avec un semblable corroyage ; ses dimensions principales sont :

Patin.	83 millimètres.
Hauteur.	90 —
Largeur au boudin.	83 —

Seconde opération. — La seconde opération fut assez semblable à la première.

La charge de fonte, prise au cubilot, fut de 6,000 kilogrammes, et l'addition de matières basiques froides, de 1,200 kilogrammes. L'observation au spectroscope donna 7 1/2 minutes pour la première période et autant pour la seconde. Il n'y eut, comme dans la première charge, ni bouillonnement, ni fortes projections ; sans doute grâce à la grande capacité du convertisseur.

Le sursoufflage, en y comprenant les prises d'essai et tout le temps perdu, dura près de 20 minutes. On prit des échantillons B_1, B_2, etc., comme dans la première opération, et voici les résultats de leur analyse.

Sursoufflage.		Phosphore.
	Fonte.	1,800
1' 1/2	B_1.	0,830
1/2'	B_2.	0,458
15"	B_3.	0,334
15"	B_4.	0,210
10"	B_5.	0,140
Après spiegel.	. . . .	0,223.

L'addition de spiegel fut également de 10 pour 100. La réaction, qui s'ensuivit, fut tumultueuse, et l'opération sembla donner un métal froid. La poche se boucha et il fallut passer une tige de fer dans le trou de coulée. Un lingot rocha quelques minutes après, ce qui est le caractère du métal oxydé.

Quant au métal laminé, il donna :

Carbone.	0,171
Manganèse.	0,160
Phosphore.	0,223
Soufre.	0,037
Silicium.	traces.

Deux lingots furent ébauchés : l'un présenta une grande cassure, qui s'agrandit au finissage ; mais comme le rail avait 32 mètres de long, on put, au sciage, le débiter en parties utiles. L'autre lingot s'ébaucha avec nombreuses petites criques indiquant un métal rouverain.

Après ces deux opérations, l'état du garnissage semble bon ; on apercevait bien quelques fentes, mais l'intensité du rayonnement ne permettait pas de discerner si ce n'était pas l'effet des joints des briques. Le fond, où les tuyères étaient remplacées par des trous pratiqués dans le

garnissage, ne présentait pas de cavités, mais il semblait légèrement usé, à en juger par son aplatissement. En effet la scorie accompagnant le métal de la dernière opération avait la composition suivante :

Silice	21,50
Chaux	36,00
Magnésie	4,94
Alumine	1,30
Peroxyde de fer	6,09
Protoxyde de fer	9,94
Protoxyde de manganèse	7,50
Acide phosphorique	9,70

Si la scorie était homogène, un calcul simple montrerait que l'usure du garnissage a été de 700 kilogrammes, car celle-ci renferme près de 5 pour 100 de magnésie, qui ne peuvent provenir que du revêtement, puisqu'il n'y a pas de magnésium dans la fonte et que l'addition des 1,200 kilogrammes de chaux et d'oxyde de fer ne renferme que des traces de magnésie. Quoi qu'il en soit, il y a eu une certaine usure, qui est incontestable, et qu'une série d'opérations successives pourrait seule mesurer sûrement.

Si nous considérons dans son ensemble le procédé de MM. Thomas et Gilchrist, nous voyons *qu'au premier abord*, il est très satisfaisant. Quoi de plus simple, en effet, que de résoudre le problème de la déphosphoration, *sans appareil spécial, en absorbant le phosphore par une addition basique destinée à protéger le garnissage, et d'achever l'opération en prolongeant le soufflage.*

Si l'on étudie, au contraire, les opérations que nous venons de décrire, en les comparant au traitement des fontes pures ordinaires, nous trouvons :

Que la capacité des convertisseurs est utilisée en partie seulement, ce qui est une cause de refroidissement et une dépense plus grande d'installation.

Que, par la prise d'essais réitérés, on prolonge les opérations du double au moins de leur longueur, ce qui est une diminution de production et une nouvelle cause de refroidissement.

Que le déchet est notablement augmenté.

Qu'on n'a aucun caractère annonçant la fin de la déphosphoration, ce qui oblige à de nombreux tâtonnements.

Il semble difficile d'obtenir par cette méthode du métal relativement carburé.

Enfin, *malgré la forte proportion de manganèse introduit, le métal a une tendance à rester rouverain et par suite, à se laminer irrégulièrement.*

Un dernier caractère, sur lequel nous reviendrons plus loin, c'est la *rephosphoration du métal par l'addition du spiegel.* La teneur en phosphore du métal soufflé, après avoir été abaissée à 0,140 remonte à 0,235 et 0,223. Il y a là un phénomène fort curieux, que les métallurgistes anglais expliquent par une action réductrice du manganèse sur les phosphates produits, et dont la scorie renferme une proportion assez forte. Si le phosphore se

trouve dans la scorie à l'état de phosphates de chaux, de magnésie ou d'alumine, aucune réaction ne semble possible. Si le phosphore est à l'état de phosphate de fer, il faudrait qu'il se produisit du phosphure de fer ou de manganèse repassant dans le métal, ce qui nous semble aussi invraisemblable.

Forno-Convertisseur Ponsard. — C'est un appareil qui tient du Bessemer et du four Martin-Siemens. Dans une certaine position de la sole mobile, on peut faire plonger des tuyères, qui soufflent de l'air dans le bain métallique.

Des essais de déphosphoration ont été faits avec cet appareil, à Thy-le-Château, près de Charleroi. Avec un garnissage basique, analogue à celui de MM. Thomas et Gilchrist, on serait arrivé à produire de l'acier en employant des fontes très phosphoreuses. Mais ces essais ont été peu concluants, la chaleur ayant été insuffisante. De nouvelles expériences doivent être entreprises prochainement à Creil; on emploierait parallèlement le récupérateur Ponsard et le régénérateur Siemens, ce qui ne peut amener qu'une comparaison fort instructive et fort intéressante.

Il nous reste maintenant à présenter quelques observations générales sur les phénomènes chimiques, qui se passent dans les divers essais de déphosphoration, dont nous venons de parler.

Un fait d'abord doit nous frapper, c'est que, *dans les mazéages épurateurs la déphosphoration a lieu sans élimination importante de carbone ; au Bessemer, au contraire, il n'y a déphosphoration notable que lorsque le carbone est déjà très réduit et la déphosphoration n'est complète qu'après la décarburation totale.*

Comment concilier ces deux phénomènes contradictoires?

Voici l'explication qu'en a donnée M. Pourcel, chef de service des aciéries de Terre-Noire, dans une communication qu'il faisait le 7 juin 1879, à la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne.

L'oxyde de carbone est un réducteur énergique du phosphate de fer; sous son action, il se forme du phosphure de fer, qui se dissout dans la fonte ou dans l'acier en présence. Cette action réductrice doit, sans aucun doute, croître avec la température.

Dans les mazéages épurateurs de M. Bell et de MM. Narjes et Bender, l'action oxydante du peroxyde de fer se porte sur le silicium et le phosphore d'abord. Il se fait de la silice et de l'acide phosphorique qui se combine à l'oxyde de fer en présence. Comme il y a peu ou point de carbone brûlé, il n'y a pas d'oxyde de carbone produit; le phosphate de fer formé n'a donc pas lieu de se réduire, puisqu'on arrête l'opération quand le dégagement gazeux commence. C'est la présence du silicium qui empêche la combustion du carbone, comme on l'a reconnu au Bessemer. De plus, tant qu'il y a du silicium, l'oxyde de carbone ne peut rester en dissolution dans le métal ; il est décomposé, comme le montre la théorie des aciers sans soufflures.

On peut même aller plus loin et dire que s'il n'y avait pas de silicium, ces

mazéages épurateurs ne pourraient fonctionner, à moins qu'une forte proportion de manganèse ne protégeât le carbone contre l'oxydation.

Dans le procédé Thomas et Gilchrist, au contraire, nous voyons la déphosphoration ne commencer que lorsque la proportion de carbone est au-dessous de 1 pour 100 et ne s'achever qu'après la décarburation totale. L'oxyde de fer produit se porte alors exclusivement sur le phosphore sans craindre l'action réductrice de l'oxyde de carbone.

Quel est dans ce procédé le rôle du garnissage basique et des additions de chaux mélangée d'oxyde de fer? Les métallurgistes anglais prétendent qu'ils sont destinés à saturer la silice produite et à permettre la production d'un phosphate terreux (chaux, alumine ou magnésie). Ils affirment donc que le phosphore n'est pas dans la scorie à l'état de phosphate de fer. Les expériences sur lesquelles ils s'appuient sont les suivantes :

Le sulfhydrate d'ammoniaque transforme à froid le phosphate de fer en sulfure de fer et phosphate d'ammoniaque. Le chlorure de sodium transforme à chaud le phosphate de fer en chlorure de fer et phosphate de soude. Ils n'ont pu réussir à produire aucune de ces réactions avec la scorie de leurs opérations; mais, par des acides faibles, ils ont pu dissoudre du phosphate de chaux.

Ce mode de raisonnement, qui ne tient pas compte de l'influence perturbatrice de la silice, est-il bien inattaquable? Ne sommes-nous pas en présence d'un silico-phosphate de fer, qui résiste aux premiers réactifs et cède à l'action plus énergique des acides?

Si, au contraire, nous considérons le développement considérable d'oxyde de carbone après l'addition du spiegel, et qui n'apparaît à l'orifice du convertisseur qu'après avoir traversé cette couche épaisse de scorie renfermant, comme nous l'avons vu, près de 10 pour 100 d'acide phosphorique, n'avons-nous pas là un réducteur énergique qui doit jouer un rôle? C'est certainement cet oxyde de carbone, qui fait repasser dans le métal, du phosphore enlevé à la scorie. Or, cet oxyde de carbone, comme nous l'avons dit en commençant, est sans action sur les phosphates de chaux, d'alumine ou de magnésie ; c'est donc du phosphate de fer qu'il a réduit.

Le phénomène est peut-être complexe. Il pourrait se former des phosphates terreux au commencement de la déphosphoration, mais il semble difficile d'admettre que dans le sursoufflage, l'oxyde de fer à l'état naissant ne se combinât pas, en partie au moins, à l'acide phosphorique produit.

M. Pourcel, cherchant à relier toutes ces méthodes d'épuration, ne voit pas pourquoi, pendant la première période de l'opération de MM. Thomas et Gilchrist, le phosphore ne s'éliminerait pas tout aussi bien que dans les procédés de MM. Bell, et Narjes-Bender. Il lui semble donc que la courbe du phosphore devrait s'abaisser jusque vers l'axe des abscisses pendant la combustion du silicium, pour se relever ensuite pendant la combustion du carbone, par suite de l'effet réducteur de l'oxyde de carbone.

Cette manière de raisonner me semble très logique et mériterait d'être vérifiée par une expérience spéciale, qui pourrait être très féconde pour le

procédé. Il y a cependant une certaine différence entre les mazéages épurateurs dont nous avons parlé et la première période du procédé Thomas et Gilchrist. Dans le premier cas, nous sommes en présence d'une action oxydante, qui est peut-être plus énergique, à cause de la présence du peroxyde de fer en excès, tandis que dans le Bessemer, l'oxygène soufflé se porte peut-être de préférence sur le silicium, avant d'agir sur le phosphore. La ligne droite du phosphore, dans le diagramme de M. Richards, n'est pas une preuve que la déphosphoration n'ait pas eu lieu au commencement; on pourrait, en effet, n'avoir fait qu'un dosage après la première période, quand tout le phosphore oxydé aurait été réduit et en avoir conclu à l'absence de déphosphoration. La ligne droite du carbone est bien hypothétique, celle du phosphore l'est peut-être bien aussi. En effet, il est impossible que la proportion de carbone reste constante, et cela pour deux raisons : 1° Puisqu'il y a élimination de silicium et production certaine d'oxyde de fer, la masse traitée a diminué, la proportion pour 100 de carbone doit donc avoir augmenté; 2° La première période de toute opération Bessemer est accompagnée d'étincelles rougeâtres, qui sont plus ou moins abondantes, mais qui sont vraisemblablement du graphite entraîné et brûlé partiellement. Du reste, deux analyses d'opérations Bessemer faites en Allemagne prouvent cette augmentation du carbone : d'après Kessler, après 4 minutes, le carbone est passé dans une opération, de 3,58 à 3,79 et dans une autre, de 3,03 à 3,17.

Pour conclure, nous dirons : 1° *Que la déphosphoration de la fonte par le mazéage nous semble pratiquement démontrée;*

2° *Qu'au Bessemer, la fabrication de l'acier avec des fontes très phosphoreuses est un fait parfaitement établi et complet au point de vue scientifique.*

Il reste des difficultés pratiques, que les auteurs du procédé reconnaissent eux-mêmes, et qu'ils cherchent à vaincre en continuant leurs expériences; mais le moment ne nous semble pas bien éloigné où tout ce qui embarrasse encore sera complètement résolu.

M. Regnard pense qu'on peut admettre une réduction partielle des phosphates scorifiés sans faire intervenir l'oxyde de carbone. Lorsqu'on ajoute du spiegel à la fin d'une opération Bessemer, on fait passer à travers la scorie une fonte à la fois riche en carbone et surtout en manganèse. Ces deux corps, et le fer lui-même, ne peuvent-ils être considérés comme réduisant directement une partie des phosphates avec lesquels on les met en contact ?

M. Regnard pense que le fer même peut réduire les phosphates dans certaines conditions de température, et que si par exemple on laisse en contact dans un four à puddler une scorie contenant des phosphates en présence du fer purifié, celui-ci reprendra peu à peu, à une haute température, du phosphore à cette scorie. N'est-il pas permis de croire que le carbone libre, dissous dans la fonte, doit avoir une énergie réductrice plus grande que l'oxyde de carbone, résultat d'une première oxydation?

Les réactions inverses du fer libre réduisant le phosphate de fer, et de l'oxyde de fer comburant le phosphore pour le transformer en phosphate de fer semblent aussi possibles à concevoir queles réactions inverses du fer décomposant l'eau sous l'influence de la chaleur, pour former de l'oxyde de fer et de l'hydrogène, et de l'hydrogène réduisant, à une température différente, l'oxyde de fer pour reproduire de l'eau et du fer métallique. Les affinités en un mot, varient avec les températures.

On a parlé aussi de la grande stabilité du phosphate de chaux; c'est pourtant la source de tout le phosphore produit industriellement.

M. Gautier ne partage pas l'opinion de M. Regnard. Dans la fabrication du phosphore, on commence par faire agir l'acide sulfurique sur le phosphate de chaux des os pour mettre en liberté un équivalent d'acide phosphorique, que l'on réduit ensuite par le charbon; il reste la moitié du phosphore sous forme de pyrophosphate de chaux irréductible par le carbone ou l'oxyde de carbone, mais *que l'on peut réduire par un mélange de silice et de charbon avec formation de silicate de chaux.*

M. Gautier ne voit pas bien quelle réaction on pourrait invoquer pour expliquer la décomposition du phosphate de fer par le fer. Il ne pourrait se former qu'un sous-phosphate, qui n'aurait aucune raison pour passer dans le métal. Quant à l'exemple que cite M. Regnard, de fer puddlé qui absorberait du phosphore au contact de scories phosphoreuses, il ne connaît pas ce fait, mais il lui semble qu'on pourrait l'expliquer par une action toute physique et sans faire intervenir de réactions chimiques peu connues. Si le fer en question était à l'état de loupe spongieuse, il peut y avoir eu imbibition de scorie phosphoreuse, que le martelage ou la compression n'aurait pu expulser ensuite suffisamment.

M. Périssé désire appeler l'attention de la Société sur l'explication, donnée par M. Pourcel, des circonstances particulières qui ont accompagné les deux opérations de déphosphoration, au convertisseur Bessemer dans l'usine d'Eston.

A deux reprises, on a remarqué que la proportion de phosphore était plus forte après l'addition du spiegel; de 1,4 millièmes avant cette addition, la proportion s'est relevée à 2,3 millièmes. Cette réincorporation du phosphore dans le métal fondu serait due à l'action du gaz oxyde de carbone provenant du carbone du spiegel, lequel gaz réducteur aurait ramené une partie du phosphate de fer de la scorie, à l'état de phosphure dans le bain métallique.

C'est en se basant sur une même réaction qu'on s'explique pourquoi la courbe de déphosphoration ne s'est abaissée qu'après la période de décarburation par un soufflage supplémentaire pratiqué à la fin de l'opération ordinaire au convertisseur.

M. Périssé pense avec MM. Pourcel et Gautier, que la courbe du phosphore ne doit pas présenter la ligne droite indiquée par le diagramme des habiles expérimentateurs anglais. Il est permis d'admettre, en attendant les indications de la pratique, que le phosphore s'est scorifié d'abord pen-

dant la première période du soufflage, dans laquelle le carbone n'a pas été sensiblement oxydé, et on arrive ainsi à donner à la courbe du phosphore, la forme curviligne infléchie que M. Périssé trace sur le tableau.

Cette hypothèse peut être admise, car elle est en concordance avec les résultats obtenus par M. Lowthian Bell et par M. Krupp, à la suite d'une espèce de mazéage en présence de garnitures et de scories ferreuses éminemment basiques. La déphosphoration partielle a été obtenue, mais à la condition d'arrêter l'opération au moment où la décarburation commence, c'est-à-dire lorsque le dégagement de l'oxyde de carbone s'est manifesté.

Pourquoi n'en serait-il pas de même dans le convertisseur avec garniture basique, contenant en outre une certaine quantité de scories de fer, et de chaux? Les conditions sont assez semblables, sauf toutefois la température, et la composition de la garniture et des scories, quoiqu'elles soient basiques dans les deux cas.

L'emploi d'une garniture en chaux ou magnésie s'impose ici pour avoir une réfractabilité suffisante. De plus, la présence de la chaux dans les scories peut avoir pour effet de mieux neutraliser la silice par la multiplicité des bases et d'aider ainsi la déphosphoration sous l'influence du courant d'air.

Quant à l'élévation de la température, s'il est vrai qu'elle favorise la réduction du phosphate, il faut du moins reconnaître que la basicité des scories et l'énergie de l'oxydation par le soufflage peuvent contre-balancer, et au delà, l'action de la plus haute température et amener la scorification du phosphore.

Ceci admis, M. Périssé pense qu'il faut profiter de cette scorification précédant la période de décarburation, et qu'il convient pour cela de se débarrasser des silicates et des phosphates en coulant une grande partie des scories, au moment où le carbone va commencer à brûler intermoléculairement par suite de l'abaissement de la proportion du silicium dans le bain. Seulement il vaudrait mieux procéder avec une fonte un peu manganésifère parce que le manganèse, très oxydable, retarderait la décarburation, tout en donnant intermoléculairement un protoxyde énergique qui favoriserait l'oxydation du phosphore en neutralisant l'action de la silice provenant de la combustion du silicium.

En se débarrassant préalablement d'une partie des scories, l'opération pourrait se terminer dans le même convertisseur dans des conditions bien meilleures.

En effet, la période de sursoufflage serait bien plus courte puisqu'une notable partie du phosphore aurait été déjà éliminée. Conséquemment, la proportion de spiegel serait bien moindre, la proportion de phosphore réincorporé serait bien plus faible et enfin on arriverait plus facilement à la désoxydation complète du bain final, qui n'a pas dû être obtenue à Eston, si on se rappelle ce que M. Gautier a dit à la Société au sujet de la nature du métal et des produits laminés.

M. Périssé conseille donc de *se débarrasser de la scorie dans le cours de*

l'opération, au moment jugé le plus opportun; mais il ne pense pas qu'il soit pour cela nécessaire d'avoir deux convertisseurs, ainsi que l'a proposé M. Harmet. Il serait heureux qu'un membre présent pût apporter à la Société des renseignements sur ce dernier procédé; ce serait un utile complément à la communication très intéressante, et très bien coordonnée de M. Gautier.

M. Jules Garnier dit que, dans l'opération au Bessemer de MM. Thomas et Gilchrist, le phosphore commence à s'oxyder en même temps que le silicium pour passer à l'état de phosphate dans la scorie, et que, si on retrouve intégralement le phosphore dans le métal après le départ du carbone, c'est que le produit de la combustion de ce corps, c'est-à-dire l'oxyde de carbone, en traversant la scorie, a réduit les phosphates formés et régénéré le phosphore. — En un mot, dans l'opération au Bessemer, on a une couche inférieure de métal où s'exerce une énergique action oxydante et une couche supérieure de scories, où s'exerce une puissante action réductrice aussi longtemps que le carbone brûle. C'est là ce qui explique sans doute que certains minerais, bien que n'ayant pas de phosphore, ne peuvent pourtant donner au Bessemer que de mauvais produits; c'est que leurs fontes tiennent de l'aluminium, du magnésium ou autres corps simples qui se réintègrent dans le métal sous l'action de l'oxyde de carbone et rendent le produit de mauvaise qualité.

M. J. Garnier s'étonne donc que MM. Thomas et Gilchrist aient tracé à peu près horizontalement la courbe de départ du phosphore au lieu de lui donner la double inflexion. M. Pourcel dans sa récente communication à la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne a déjà émis l'idée de cette double inflexion; M. Périssé vient encore de la signaler comme probable et M. J. Garnier appuie énergiquement ce dire, qu'il considère comme *certain*. Qu'est-ce, en effet, que la première phase de l'opération Bessemer, si ce n'est un mazéage; or, tout mazéage enlève d'abord le silicium, puis une dose plus ou moins grande de phosphore; enfin, arrive la période de décarburation proprement dite. M. Richard Akermann, professeur à l'École des mines de Stockholm, au Congrès de 1878, à Paris, de l'*Iron and steel Institute*, a analysé les phénomènes qui se produisent dans le mazéage sur sole; il dit, entre autres, « par ce procédé, tout en enlevant le silicium et une grande partie du phosphore sous une action oxydante, la fonte ne se décarbure jamais sensiblement et n'acquiert donc pas une aussi grande tendance à réduire le phosphore de la scorie et à s'y combiner de nouveau. » Toutefois, d'accord avec ce que vient de dire M. Regnard, M. Akermann attribue au fer lui-même une action réductrice sur les phosphates déjà formés; action d'autant plus grande *que le fer s'approche plus de l'état de nature* : ce fait serait le résultat d'expériences, et, en y réfléchissant, il est à supposer que le fer ne joue pas ici le rôle direct et que c'est encore l'oxyde de carbone qui, au fur et à mesure de son départ, opère de plus en plus les réductions observées. — Ainsi donc, si M. Akermann a signalé l'effet de l'oxyde de carbone dans l'opération d'affinage des fontes, il

appartenait en réalité à M. Pourcel d'en faire ressortir plus nettement l'importance. — Cette importance n'a pas d'ailleurs échappé, non plus, aux ingénieurs de Krupp puisque dans leur mode de mazéage sur sole des fontes phosphoreuses, ils arrêtent l'opération aux premiers dégagements des bulles de gaz oxyde de carbone.

Mais si l'on admet, que le silicium et le phosphore opèrent leur départ avant le carbone, on peut se demander pourquoi Samuelson, Lowthian Bell, Krupp, etc., n'arrivent pas à *scorifier* tout le phosphore. M. Garnier a cherché la raison et il saisit cette occasion de donner celle qu'il a trouvée. Dans les fontes phosphoreuses on a généralement peu de silicium; eh bien! c'est précisément ce manque relatif de silicium qui empêche la *scorification* complète du phosphore, soit dans le mazéage sur sole, soit dans son analogue, la première période d'insufflation dans la cornue Bessemer; en effet, quand la faible dose de silicium est brûlée, ainsi qu'une dose proportionnelle de phosphore, le carbone commence sa combustion bien qu'il y ait encore du phosphore. — Mais, si on opérait sur des fontes dans lesquelles la proportion de silicium par rapport au phosphore fût suffisamment élevée, la période d'oxydation du silciium se prolongerait, par suite celle du phosphore, qui, de la sorte, serait complètement scorifié au moment où le carbone arriverait à sa période active de combustion; mais, si l'on coule à ce moment, le phosphore est en entier dans la scorie et le métal est un carbure de fer très pur.

Quelle est cette proportion relative de silicium et de phosphore à maintenir dans les fontes? C'est ce que les expériences apprendront; on peut déjà prévoir, d'après des analogies, que le silicium devra être dans une proportion double ou triple de celle du phosphore.

M. Gillot croit devoir repousser, quant à lui, toutes les explications qui ont été proposées de la déphosphoration. Il n'y a pour lui qu'un condiment économique purificateur, c'est le manganèse qui, en passant à l'état de protoxyde, fournit une base d'une énergie considérable. Quant à faire de bon fer ou de bon acier avec des minerais phosphoreux, M. Gillot le croira quand il l'aura vu,... et encore ???

M. Criner fait observer que l'affinage des fontes ordinaires, dans un appareil quelconque à garniture basique, commence par l'oxydation simultanée du silicium et du phosphore.

M. J. Garnier en a conclu qu'en augmentant la quantité du silicium, la période de scorification serait allongée; ce qui permettrait une plus grande élimination du phosphore. Sans s'inscrire absolument contre cette façon de voir, M. Criner croit qu'il convient d'être un peu moins affirmatif.

Si nous nous reportons, en effet, aux courbes du carbone et du silicium, nous voyons que la première est d'abord une ligne droite, ou sensiblement droite, et qu'elle ne s'infléchit que quand la teneur en silicium du bain métallique est réduite à environ 1 p. 100. Jusqu'à ce moment, le silicium joue donc envers le carbone le rôle de *protecteur absolu* de l'oxydation.

Or, qui sait si, en augmentant la teneur en silicium de la fonte, on n'aurait pas une courbe analogue pour représenter le phosphore ?

Des analyses seules pourront déterminer s'il est avantageux d'employer ces fontes plus siliciées, mais aussi plus coûteuses.

M. Jules Garnier dit, qu'à son avis, le phosphore ne saurait avoir une courbe de départ parallèle à celle du carbone comme le fait craindre préjudiciellement M. Criner ; on sait, en effet, que toutes les combinaisons ou alliages soumis à un affinage oxydant laissent les corps qui les composent partir dans l'ordre régulier de leur affinité respective pour l'oxygène. Or, le phosphore est bien plus oxydable que le carbone ; il l'est peut-être plus que le silicium et, de fait, il est à présumer que, si la silice n'était un acide plus puissant et moins facile à ramener à un état inférieur d'oxydation que l'acide phosphorique, ou si même on pouvait obtenir une fonte phosphoreuse et silicieuse, mais privée de carbone, il est à présumer que le phosphore s'éliminerait avant le silicium. Aussi M. Garnier propose-t-il de pratiquer son système avec des fontes très peu carburées, mais qu'on additionnerait de siliciures de fer, peu carburés eux-mêmes relativement. Ce moyen serait, dans certains cas, plus économique que d'agir sur des fontes silicieuses qui sont, en effet, d'un prix élevé. M. Garnier a déjà proposé, en 1874, l'emploi des siliciures de fer pour la fabrication d'aciers au silicium exempts de soufflures, et, en tous cas, ces siliciures, alliés au manganèse, conviendraient mieux que le *spiegel* comme addition finale dans le système Thomas et Gilchrist, puisqu'ils introduiraient une proportion relativement moindre de carbone et, par suite, réintégreraient moins de phosphore dans le bain.

M. Leblanc demande comment sont faites les analyses destinées à doser le phosphore dans les expériences dont M. Gautier a entretenu la Société.

M. Gautier répond que le réactif employé est le molybdate d'ammoniaque, qui permet de doser le phosphore avec une très grande précision.

M. Brüll demande à M. Gautier s'il lui est possible de fournir à la Société quelque indication sur le prix de revient du métal fabriqué d'après le procédé Thomas et Gilchrist.

M. Gautier répond qu'il lui est impossible de fournir ce renseignement, les expériences étant trop peu nombreuses encore pour qu'on ait pu établir les éléments complets d'un prix de revient. Les inventeurs eux-mêmes seraient fort embarrassés. Ils parlent de 10 à 12 francs par tonne pour les frais supplémentaires de déphosphoration ; avec l'écart actuel, de 14 shillings par tonne entre la fonte du Cleveland et celle du Cumberland, il est probable qu'en Angleterre l'acier fait avec les fontes *phosphoreuses coûterait plus cher qu'en employant la fonte pure.*

M. Périssé demande à ajouter quelques mots. Les essais de MM. Thomas et Gilchrist, et des autres métallurgistes cités par M. Gautier, permettent certainement de dire aujourd'hui, qu'avant peu, des rails d'acier seront

fabriqués avec les fontes phosphoreuses du Cleveland et de la Moselle. Mais faut-il considérer les essais d'Eston comme concluants au point de vue véritablement industriel ? Il ne le pense pas.

D'abord il y a la *garniture*. Combien d'opérations pourront être faites sans en changer. On ne peut rien dire sur ce point, puisque dans les deux opérations citées, M. Gautier a estimé à 400 ou 500 kilogrammes la consommation de la garniture calcaréo-magnésienne.

Ensuite, et afin de réduire beaucoup la proportion de la silice et de l'acide phosphorique dans les scories, il y a l'obligation d'ajouter dans l'appareil une *quantité considérable d'oxydes* de fer et de chaux, 1,200 kilogrammes pour 6,000 kilogrammes de fonte. Cette addition doit conduire à des opérations plus froides. Le fait a été d'ailleurs constaté. Comment en serait-il autrement si on considère que la quantité de chaleur contenue dans les laitiers est, à température et à poids égaux, beaucoup plus grande que celle contenue dans l'acier. En effet, d'après M. Gruner, la chaleur spécifique moyenne des laitiers de hauts fourneaux serait de 0,28 à 0,29, c'est-à-dire une fois et demie environ, la chaleur spécifique du fer à la même température. Quant à la chaleur latente, elle serait de 50 calories pour les laitiers au lieu de 30 calories environ pour la fonte et l'acier.

De ces chiffres, corrigés même pour tenir compte de la composition chimique différente, on peut déduire que les scories des opérations d'Eston contenaient 400 à 500 calories par kilogramme, tandis que l'acier Bessemer n'en contenait que 300 à 320. Si on tient compte des proportions, on arrive à conclure que la quantité de chaleur contenue dans le bain se répartit à peu près de la façon suivante : 75 p. 100 dans l'acier et 25 p. 100 dans les scories.

Un quart de la chaleur est donc stérile et peut manquer au métal, parce que la plus grande durée de l'opération et ses intermittences sont aussi des causes de refroidissement. Il faut donc employer des fontes chaudes, c'est-à-dire introduire plus de silicium, qui nécessite l'emploi d'une plus grande quantité de scories ; on tourne dans un cercle vicieux. Déjà, à Eston, avec des fontes plus siliciées que les fontes Bessemer employées dans les aciéries françaises, on a obtenu une première opération moins chaude et une deuxième opération qui doit être considérée comme froide.

Ces conditions différentes, jointes à d'autres encore, telles que la production plus faible par opération, doivent exercer une grande influence sur le prix de revient. Aussi M. Périssé comprend très bien qu'il ne soit pas possible aujourd'hui de déterminer le prix de revient de l'acier par les nouveaux procédés de déphosphoration.

M. Regnard pense qu'il serait injuste de laisser clore une séance consacrée tout entière à une question aussi intéressante que celle de la déphosphoration, sans citer au moins le nom de M. Tessié du Motay, qu'on peut dire l'un des plus anciens et des plus persévérants pionniers de cette question. S'il ne lui a pas été donné d'arriver à une réussite complète, il est permis de croire que ses travaux, ses essais si variés et si nombreux,

auxquels il laissait libéralement assister tous les métallurgistes qui en témoignaient le désir, et *l'excitement,* pour employer un mot anglais, ou l'agitation qu'il a entretenue longtemps sur le problème de la déphosphoration, n'ont peut-être pas été sans une certaine influence sur le résultat final, auquel d'autres que lui semblent aujourd'hui bien près d'arriver.

Si on reprenait dans l'ordre méthodique si bien suivi par M. Gautier toutes les questions ayant trait à la déphosphoration, le puddlage, le mazéage, la fabrication de fine métal, le travail de la fonte par insufflation d'air, par additions chimiques, par réactions au four Martin-Siemens, les garnissages basiques, etc., il serait intéressant de rappeler les travaux persévérants et les théories ingénieuses de ce chercheur infatigable sur chacun de ces points. L'heure avancée ne permettrait pas même d'effleurer ce sujet, mais M. Regnard tenait à prononcer au moins le nom de M. Tessié du Motay à l'occasion de cette discussion.

MM. Cosnard, Fargue, Maus et Piarron de Mondesir ont été reçus membres sociétaires,

---

Séance du 18 Juillet 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la séance du 4 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer à la Société que M. Henri Mathieu, Vice-Président de la Société, a été promu Officier dans l'Ordre de la Légion d'honneur.

M. LE PRÉSIDENT informe l'Assemblée que la Société a reçu de notre Collègue M. Ch. de Comberousse l'hommage d'un exemplaire de son nouveau livre, *Histoire de l'École Centrale*, de cette École du Génie civil au sein de laquelle plus de la moitié des membres de notre Société ont été enfantés à la vie d'Ingénieur; c'est aussi sous les auspices de l'École Centrale que notre Société a été fondée en 1848, portant pendant deux ans le nom de Société Centrale des Ingénieurs civils.

Je dois donc en votre nom remercier cordialement notre collègue M. de Comberousse, non seulement pour l'hommage de son livre, mais surtout pour avoir écrit cette histoire; car il a ainsi rendu un réel service à tous les Ingénieurs civils en racontant la vie et les travaux d'hommes éminents, fondateurs et premiers pionniers de notre belle profession, en même temps que de cette œuvre puissante d'éducation, dont les fruits se sont étendus sur le monde entier et qui promet tant encore pour l'avenir.

Pour nous, anciens élèves, en parcourant ces pages de notre passé et revoyant dans la belle gravure qui les accompagne en frontispice la

perspective de notre chère École, nous sentons notre cœur battre plus fort au souvenir de notre jeunesse et des leçons vivifiantes que nous avons reçues là de ces maîtres illustres. Et il n'y a pas à douter d'ailleurs de la vive sympathie des autres membres de notre Société, qui, s'ils ne sont pas élèves de l'École Centrale, en sont cordialement les amis et ont, comme nous, profité des travaux de ses professeurs.

C'est pour cela, Messieurs, que j'ai cru devoir tout particulièrement signaler à la Société ce livre de M. de Comberousse et remercier son auteur en votre nom.

Il est donné lecture de la lettre de M. F. Weil, par laquelle il dit qu'il aurait voulu demander à M. Gautier s'il lui était possible de fournir à la Société quelques renseignements sur les résultats du récent perfectionnement que MM. Thomas et Gilchrist viennent d'apporter à leur procédé de déphosphoration des fontes.

Actuellement ces inventeurs, suivant les principes antérieurement indiqués par MM. Wedding et Bell, décarburent d'abord les fontes dans un convertisseur Bessemer à garnissage siliceux, et le produit décarburé est déphosphoré dans un second convertisseur à garnissage dolomitique.

Il est donné communication de la lettre suivante, adressée à la Société, par M. le Président de la Chambre de Commerce de Paris :

« Monsieur,

« J'ai l'honneur de vous adresser sous ce pli, au nom de la Chambre de Commerce, quatre extraits d'une délibération du Conseil général de la Guadeloupe relative au projet d'établissement d'un chemin de fer de la Pointe-à-Pitre au Moule. La Chambre a pensé que ce document pourrait présenter quelque intérêt pour la Société des Ingénieurs civils.

« Veuillez agréer, Monsieur, les assurances de ma considération très distinguée.

« Le Président,

« *Signé* : GUIBAL. »

Le procès-verbal de la séance du Conseil général de la Guadeloupe, qui est joint à cette lettre, mentionne la nécessité de nouvelles études pour le chemin de fer de la Pointe-à-Pitre au Moule, avec prolongement jusqu'à Saint-François, le Conseil offrant une subvention pour aider à la réalisation de ce projet, et exprimant le vœu que la Métropole intervienne, comme elle l'a fait pour la création du chemin de fer de la Réunion, au moyen d'une garantie d'intérêts pour les capitaux qui pourraient être engagés dans cette entreprise.

M. le Président donne la parole à M. Gaudry pour sa communication sur le tunnel du Saint-Gothard.

M. J. Gaudry ayant visité récemment le tunnel du Saint-Gothard fait connaître ainsi qu'il suit l'état des travaux, au 20 juin dernier.

Galerie d'avancement :

Côté Goëschnen	6.994	mètres.
Côté Airolo	6.400	—
Ensemble	13.394	—

Tunnel entièrement terminé :

Côté Goëschnen	3.700	mètres.
Côté Airolo	4.000	—
Ensemble	7.700	—

La longueur totale du tunnel devant être de 14,900 mètres, il ne reste plus que 1,600 mètres pour que la galerie d'avancement, entièrement percée, permette aux deux chantiers extrêmes de se donner la main, soit dans un an si on reste dans les conditions prévues. Jusqu'ici les faits ont remarquablement concordé, comme au mont Cenis, avec les indications des géologues.

L'élargissement du tunnel à sa section finie de 46 mètres et la maçonnerie avancent rapidement. Le tunnel sera terminé avant la ligne qui y accède de part et d'autre, plus tôt qu'on ne l'avait promis.

On se propose, paraît-il, en l'attendant, de faire traverser le tunnel par les diligences de Fluelen à Milan, au lieu de suivre la route actuelle des cols si redoutés en certaines saisons.

La société des ingénieurs de Londres, qui suit avec intérêt, comme celle de Paris, les travaux du Saint-Gothard, a entendu l'année dernière une communication de M. Clark, qui nous permet de comparer les données actuelles à celles du passé.

Au mois d'août 1875, la galerie d'avancement était à 4,025 pour les deux côtés réunis, un peu plus du côté nord ou de Goëschnen, comme toujours depuis.

Au mois de novembre dernier, soit 38 mois plus tard, on était parvenu à 11,890 mètres, avec variations annuelles, de 1,775 à 2,396 mètres, selon la dureté du rocher ou les circonstances accidentelles, telles que l'irruption d'ailleurs assez rare des eaux.

A l'origine le forage manuel eut une certaine importance. Depuis 1875 il a été presque insignifiant par rapport au travail des perforateurs mécaniques.

Le nombre des ouvriers est resté considérable ; ils sont au nombre total de 3,000. Ateliers et bureaux compris.

L'année 1878 a été fort belle : l'avancement quotidien a été en moyenne de 6 mètres 76 centimètres et il s'est élevé parfois à plus de 8 mètres ; peu de jours de travail avaient été perdus dans les neuf premiers mois pour causes accidentelles, savoir : 9 jours à Goëschnen, mais 55 à Airolo.

En ce moment l'avancement est moins rapide, les serpentines attaquées sont excessivement dures ; les mica-schistes sont tendres, mais la barre à mine s'empâte.

Les appareils employés au percement du Saint-Gothard ont été décrits et ils vont pouvoir être étudiés en détail à la prochaine exposition des sciences appliquées à l'industrie.

Ce sont toujours les perforateurs montés sur affût mobile, et mus par l'air comprimé à 7 atmosphères au compresseur et réduit ou détendu à 3 atmosphères au perforateur, après avoir été refroidi dès l'origine par des filets d'eau tamisée. Ces perforateurs sont maintenant ceux dits de Ferroux modèle 1876 et Mac Kean-Séguin, allégés de moitié par rapport au système primitif et cependant plus solides, plus simples et moins coûteux.

Les compresseurs d'air appartiennent aujourd'hui à deux types, dont le principe est d'ailleurs le même. Les anciennes batteries du système Colladon sont à trois cylindres dits à grande vitesse (diamètre 42, course 65, 65 coups par minute) avec turbine Girard de $2^{m},50$.

Les nouvelles batteries du système Œscher sont à deux cylindres (diamètre 62, course 92, 34 coups) avec turbine ayant 5 mètres de diamètre.

Ce sont les compresseurs proprement dits de la perforation ; ils alimentent un vaste réservoir au dehors et un réservoir supplémentaire dans le tunnel à proximité des chantiers avec tuyaux de communication.

Les trains de transport dans le tunnel sont remorqués par des locomotives Mékarski construites au Creusot, auxquelles des compresseurs et réservoirs spéciaux fournissent l'air comprimé à 13 atmosphères. Elles viennent renouveler la provision d'air à l'entrée du tunnel : outre le réservoir porté sur la locomotive, il existe sur une sorte de tender qui la suit, un réservoir supplémentaire de 10 mètres cubes.

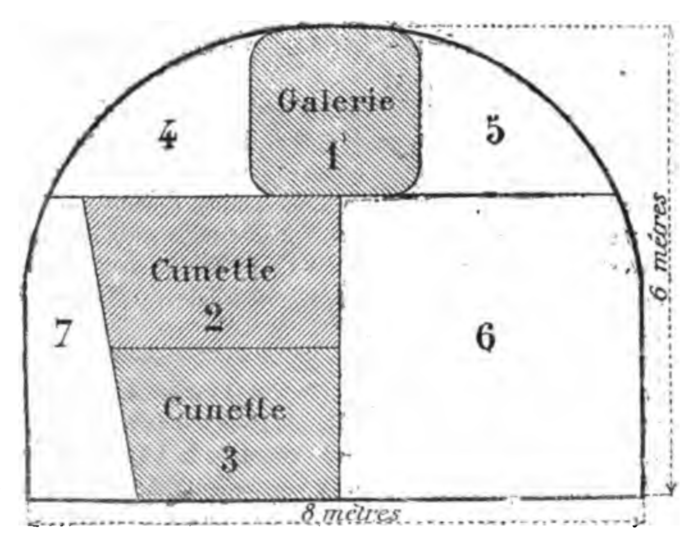
Toute cette organisation des travaux poursuit son courant avec autant de calme et sans plus de difficultés apparentes que les moindres travaux de ce genre ; on a même renoncé à la plupart des précautions spéciales qui, au début, semblaient nécessaires à une si grande œuvre.

Les bassins de filtration d'eau précédant les turbines sont sans emploi, de même que les aspirateurs en forme de cloche-gazomètre qu'on avait installés en tête du tunnel pour retirer l'air vicié du lieu des chantiers par des conduits. L'air frais émis des perforateurs suffit pour la ventilation ; les fumées, gaz et poussières forment nappe visible au sommet de la voûte et le courant sort spontanément. La chaleur reste élevée : 32 degrés environ du côté Italien et le bruit des perforateurs est formidable ; cependant on trouve facilement des ouvriers, généralement des Italiens, payés de 3 francs à 3 francs 50 et dont l'état sanitaire n'a jusqu'ici révélé rien d'anormal, eu égard à ces sortes de travaux. Ces immenses tunnels, regardés au début comme si difficiles au point de vue de l'exécution pratique, ne sont aujourd'hui qu'une affaire de temps et d'argent grâce à l'emploi des engins mécaniques, et on voit par l'exemple du mont Cenis qu'on les traverse avec guère plus d'incommodité que les grands tunnels ordinaires, tels que ceux de Rilly ou de la Nerthe.

A Goëschnen et à Airolo, sont des casernes d'ouvriers et des ateliers importants : partout l'air comprimé sert de force motrice, jusque dans les pilons Farcot dont sont outillées les forges.

Quant aux compresseurs d'air c'est à des chutes d'eau formidables qu'ils empruntent leur force motrice.

M. Gaudry ajoute quelques détails sur l'organisation des chantiers de perforation et d'abatage. La section du tunnel est, comme l'indique la figure ci-dessous, divisée en sept tranchées : au sommet et dans l'axe est la galerie d'avancement ayant six mètres quart de section; un grand



affût portant six perforateurs y travaille. Un même ouvrier manœuvre deux perforateurs; avec les servants et les déblayeurs l'équipe entière est de 20 hommes.

Au-dessous de la galerie d'avancement, mais de côté, à gauche de l'axe est une cunette à deux étages dont l'inférieur descend jusqu'au sol définitif, puis sur les côtés sont 4 chantiers d'abatage amenant la galerie à son profil de 46 mètres, 8 mètres de base et 6 mètres de haut, sous clef de voûte. A mesure de l'élargissement se fait la maçonnerie qui est jusqu'ici complète. Mais on espère qu'on pourra dans une certaine mesure laisser à nu la roche vive, qui au Saint-Gothard consiste en ces gneiss, granits, roches schisteuses ou micacées et quartz, qui contiennent les merveilles minéralogiques que l'on sait.

Le travail continue sans interruption jour et nuit. Les 24 heures sont divisées pour 3 groupes d'ouvriers qui se relaient et sont voiturés entre les casernes et les chantiers. Ceux-ci au nombre de 7, avons-nous dit, occupent 30 perforateurs à la fois, et sont avancés de manière à ce que chacun puisse servir respectivement à se garer au moment où la mine joue. La dynamite qui s'employait jusqu'ici et une nouvelle dont les essais viennent d'être faits avec des résultats remarquables, demanderont une communication spéciale qui est promise.

Le tunnel du Saint-Gothard n'est qu'une partie des immenses travaux de la ligne Lombardo-Suisse. Jusqu'à Brunen c'est un chemin de fer ordinaire. A partir de ce point, c'est une succession sans exemple d'ouvrages d'art et de lacets, voies en corniches, viaducs de la plus grande hardiesse, tunnels qui

sont encore considérables après celui du Saint-Gothard, le tout dans des sites grandioses et pittoresques, et pratiqués dans des roches de la plus grande dureté, où la mine qui joue fait retentir de ses détonations toute la contrée jour et nuit.

Les pentes seront naturellement très fortes, mais la Suisse est par excellence le pays des chemins de fer à fortes rampes gravies par divers procédés de traction.

Les chemins à crémaillères du Rigi (il y en a deux maintenant) sont une de ces solutions ; à l'Utliberg près Zurich, bien qu'il y ait des pentes de 70 millimètres avec courbes de 135 mètres, on monte et on descend, par l'adhérence ordinaire de locomotives à six petites roues couplées, munies des sablières accoutumées et de freins à air et à vapeur. A la montée la locomotive pousse devant elle un ou deux wagons à 50 places d'une seule et même classe ; à la descente la locomotive précède le train comme sur toutes les lignes, en retenant l'impulsion.

Un autre chemin Suisse présente plus d'intérêt encore : c'est celui de Wadenswel à Einsiedeln, petite ville, dont la splendide basilique est visitée chaque année par plus de 200,000 pèlerins. Son chemin de fer, dans un des plus beaux sites de la Suisse, est une ligne de 36 kilomètres avec quatre stations, exploitée toute l'année avec un mouvement important de voyageurs et même de marchandises. Elle a des rampes de 50 millimètres. La force adhérente ordinaire de locomotives à 6 roues couplées a remplacé, peu après le début, le rouleau sur plate-forme entre les rails qui avait été installé d'abord et jouait le rôle des crémaillères du Rigi.

On voit par ces exemples combien la Suisse est intéressante, par les solutions variées et audacieuses qu'elle apporte aux problèmes mécaniques. Ses deux grands ateliers de construction, de Zurich et de Winthertbur, les bateaux à vapeur de ses lacs, l'installation de ses gares de chemin de fer, dont plusieurs comptent parmi les plus belles d'Europe, ses ponts d'une seule arche défiant les plus terribles et les plus larges torrents, ne sauraient être trop étudiés. Quant au chemin de fer du Saint-Gothard depuis Brunen jusqu'au bas du versant italien, ce n'est rien moins qu'une œuvre merveilleuse remarquablement conduite.

M. Gottschalk dit que les conditions du tracé du chemin de fer du Saint-Gothard lui sont parfaitement connues ; les rampes atteignent 26 millimètres, et les rayons minima des courbes sont de 285 mètres.

Quant à la petite ligne d'Einsiedeln, dont M. Gaudry a parlé, elle a été primitivement installée sur le système Vetli, à crémaillère à double denture oblique ; on a abandonné ce système à la suite d'un grave accident survenu dès le deuxième jour des essais.

M. Regnard dit que les rampes et rayons de courbes dont a parlé M. Gaudry ne sont pas sans précédents. C'est en France qu'a été construit le premier chemin de fer exploité par locomotives avec des rampes de 76 millimètres par mètre ; les rayons des courbes descendaient à 50, 30 et même 25 mètres à l'origine.

Il s'agit du chemin de fer de Tavaux-Pontséricourt, à la construction duquel M. Regnard a travaillé sous la direction de M. Molinos, ancien président de la Société, il y a déjà une dizaine d'années.

M. Gottschalk dit que pour de telles rampes on doit moins s'inquiéter de la montée que de la modération de la vitesse à la descente. En Suisse on emploie à cet effet un frein à air comprimé, de M. Riggenbach par la marche à contre-air.

M. Quéruel a la parole pour une communication sur les résultats obtenus dans le fonctionnement d'une machine à vapeur de construction récente.

Mais d'abord, pour l'intelligence du sujet, il pense qu'il est utile de rappeler en quelques mots les points qui s'y rattachent.

Le 5 octobre 1877, dit-il, j'entretenais la Société de l'utilisation de la puissance dynamique des gaz, suivie de la description d'un type défini de machine présenté à titre d'essai. Le 4 octobre 1878, un an après, je produisais un travail spécial sur la vapeur d'eau, ayant pour but de rectifier les anciennes méthodes de calcul basées sur la loi de Mariotte, et d'indiquer de nouveaux procédés au moyen de tables assez étendues pour la détermination précise du mouvement de la vapeur en détente ou en compression.

Dans l'énoncé de principes, je disais : toutes les fois que la pression de vapeur dépasse 4 kilogrammes et la détente 5 volumes, il faut autant de cylindres que ces nombres sont multiples. Je fondais cette conclusion sur cette considération, qu'il faut éviter les efforts par à-coups, et le contact intermittent, avec de mêmes surfaces, de gaz condensables à des températures trop en écart; et comme, à calories égales et pour un même poids, $P\,v > pV$, une solution économique exige par conséquent cette pluralité de cylindres, dont je suis partisan.

Je ne puis me dispenser de m'arrêter quelques instants sur cette question si controversée du cylindre unique, ou de la pluralité des cylindres, pour répondre à l'opinion, très respectée, de M. le Président. Dans son discours du 10 janvier dernier M. Farcot incline pour le mono-cylindre, à cause de la possibilité, en cas de presse, de tirer du moteur un supplément de puissance sans rien changer à ses dispositions. Je reconnais, en effet, qu'il y a là un avantage sérieux; mais ce but ne peut-il être atteint par le bi-cylindre? Je le crois. Dans la machine dont je vais donner les résultats, cette condition se trouve réalisée : le régulateur se charge de l'opérer, soit dans le supplément de force réclamée, soit dans l'abaissement de pression, soit enfin dans la mise en marche. La vapeur initiale pénètre, alors, jusque dans le grand cylindre pendant 0,35 de la course du piston. Cette disposition donne un grand supplément de puissance, tout en conservant encore une expansion de 3 volumes.

C'est donc sur ces données, de deux cylindres successifs, qu'une machine du type pilon de 250 chevaux a été construite; et ce sont les résultats expérimentaux de cet appareil dont je me propose d'entretenir la Société.

Mettant en pratique la théorie, dont je m'étais fait une règle, je me suis attaché, dans la construction de la machine, à en faire une rigoureuse application, sachant bien que les plus infimes détails comptent dans les résultats.

Les cylindres sont enveloppés de chemises de vapeur à pression initiale et à circulation certaine. Les organes de distribution et de détente sont étanches et de fonction rapide, les espaces neutres très réduits; la circulation de la vapeur sans chicanes et en ligne droite, les efforts réactifs des organes autant que possible compensés et enfin les chemises elles-mêmes enveloppées de feutre et de bois. Je dois rappeler que les deux cylindres étant accolés, le transvasement de la vapeur du petit cylindre au grand se fait au moyen de tiroirs élastiques compensés, qui glissent entre les tables de friction de chacun des cylindres; ce qui implique un mouvement des pistons en opposition entre eux.

L'arbre est donc à deux manivelles à 180° l'une par rapport à l'autre. Il est en acier doux de Terre-Noire et composé de neuf pièces : trois tronçons, deux manetons, et quatre manivelles; son poids est de près de cinq tonnes. Les emmanchements ont été faits à la presse sous un effort de 220 tonnes. La rigidité de cet arbre composé est telle, qu'on a pu le tourner entre pointes sans calage de butée dans les manivelles. C'est ainsi qu'il a été fini, étant modérément soutenu. Je suis extrêmement satisfait de ce genre de construction, qui me paraît présenter plus de garanties contre les ruptures que les arbres d'une seule pièce.

Les premiers diagrammes tirés le furent du côté des tiges de pistons avec deux appareils. La moyenne des ordonnées des courbes du petit cylindre est de $0^k,109$ au-dessus, et de $0^k,064$ au-dessous de la ligne théorique de ma table. La moyenne différence est de $0^k,066$. La vérification de l'allure des courbes du grand cylindre est plus difficile à faire en ce que les vitesses relatives des pistons sont inconstantes par l'effet combiné de l'obliquité des bielles, qui, précisément, se produit à l'inverse de l'une par rapport à l'autre. Il y avait là une opération mathématique à faire; opération qui permît d'apprécier avec certitude la valeur des ordonnées.

Quoi qu'il en soit, je me suis déjà rendu compte de la perte due au transvasement et à la condensation qui se produit au premier contact et j'ai pu reconnaître le moment où la réévaporation se produit. Entre la courbe négative du petit cylindre, et la courbe positive du grand cylindre, j'estime que le triangle curviligne négatif qui s'y inscrit, a $0^k,120$ à la base initiale et se fond entre les deux lignes à 0,70 de la course.

Les observations recueillies sur ces premiers diagrammes suffisaient déjà pour faire présumer en faveur de la justesse de mes tables. La série de diagrammes du côté opposé, c'est-à-dire du côté où les influences perturbatrices n'existaient plus, n'a laissé aucun doute sur leur parfaite précision. Une concordance exacte s'est vérifiée entre la courbe calculée et la courbe recueillie. A la première vérification on pouvait encore émettre un doute fondé sur la fortuité; à la seconde, ce doute n'était plus possible, et

la preuve était faite à la troisième. Quatorze diagrammes contrôlés établissent expérimentalement sans conteste la justesse de ce travail [1].

Ce fait étant établi, j'ai passé à la vérification des poids de vapeur. Pour le côté des tiges des pistons, qui prend son alimentation dans la partie inférieure de la boîte à tiroir, le diagramme du petit cylindre, qui présente une légère ondulation sur la courbe théorique, arrive, en finale, en concordance sensible avec l'ordonnée calculée, et n'accuse conséquemment aucune addition de poids. Le diagramme correspondant du grand cylindre donne en finale, pour quelques-uns, une augmentation de poids de 5 à 10 pour 100. Mais j'attribue cet écart à l'imperfection du deuxième appareil, dont le mouvement avait pris du jeu et n'avait rien de précis. Si de ce côté il y avait augmentation de poids de vapeur due à l'infériorité de la prise, cette augmentation était dans une très faible proportion.

. Pour les diagrammes du côté supérieur, la concordance exacte et continue entre les courbes recueillies et celles calculées pendant toute la durée de la détente, ne permet pas de supposer qu'il y a supplément de volume de vapeur à la fin de la course et par conséquent augmentation de poids. L'appareil, quoique à petite échelle, était très exact; on peut lire, à la finale de la courbe négative du petit cylindre, l'égalité de la pression positive finale du grand cylindre; on n'y remarque pas de relèvement sensible sur la pression calculée.

En présence de ces observations, on est donc fondé à conclure que les condensations sont nulles dans le petit cylindre. Elles sont de 10 pour 100 au début du transvasement pour se réévaporiser dans le cours de 0,70 de la course du grand piston. Et enfin il n'y a que quelques cylindrées inférieures légèrement modifiées en poids, les cylindrées supérieures demeurant constantes.

Dynamique. — Dans le tableau qui suit, il est établi trois colonnes de puissance : la première contient les forces calculées selon la formule :

$$\mathrm{T}m = \frac{\mathrm{P}v\left(\mathrm{K}n - \frac{np_0}{\mathrm{P}}\right)}{75}$$

Le volume v étant celui de la vapeur à pression initiale, P en kilogrammes, dépensé par seconde. La deuxième colonne renferme les puissances indiquées, et la troisième les puissances disponibles sur l'arbre.

Les quantités en chevaux calculées et les quantités en chevaux indiquées ne pouvaient nécessairement être égales; il devait y avoir un déchet, et celui prévu était estimé être de 10 pour 100. On voit que ce chiffre n'a pas été atteint; la moyenne donne 4 pour 100, soit donc un coefficient de rendement de 96 pour 100 sur ce premier point.

1. Moyenne différence $0^{k},007$ en plus.

TABLEAU de dix diagrammes doubles relevés avec deux appareils Richard, sur une machine à deux cylindres à manivelles à 180° du type Pilon, construite en 1878, par MM. Crespin et Marteau.

SYSTÈME A. QUÉRUEL.

DATES.	VAPEUR INITIALE.		PUISSANCE EN CHEVAUX.			VAPEUR CONSOMMÉE EN KIL.			
	Pressions.	Expansions.	Calculées.	Indiquées.	Nettes.	Par heure.		Par cheval et par heure.	
	En kil.	En volumes.	D'après tables.	D'après ordonnées.	Sur arbre.	Initiale.	Finale.	Indiqué.	Sur arbre.
Juin.. 6	4,350	10,04	180,80	174,77	163,56	905,00	977,50	5,593	5,976
Juin.. 4	5,620	12,06	195,94	193,19	181,98	970,50	1048,10	5,425	5,840
Mai.. 24	5,940	16,54	173,20	160,54	149,33	745,50	805,10	5,015	5,392
Juin.. 14	6,290	15,60	191,70	182,45	171,24	833,90	900,60	4,936	5,261
Juin.. 20	7,150	21,80	166,40	154,94	143,73	673,20	727,00	4,693	5,059
Mai.. 14	7,200	20,00	181,73	171,91	160,70	737,00	796,00	4,635	4,957
Mai.. 27	6,870	22,83	154,20	150,43	139,22	619,10	668,60	4,446	4,802
Mai.. 24	6,970	20,79	169,74	167,57	156,36	689,00	744,30	4,443	4,750
Mai.. »	8,200	23,44	182,24	171,68	160,47	695,40	751,00	4,375	4,680
Mai.. 8	7,220	26,23	144,67	144,45	133,24	563,60	608,70	4,211	4,569
	65,810	189,33	1740,62	1671,93	1559,83	7432,20	8026,90	47,772	51,286
Moyennes .	6k,581	18v,933	174ch.,062	167ch.,193	155ch.,983	743k,220	802k,690	4k,777	5k,128

OBSERVATIONS. — La tare de la puissance de la machine est de 11ch,21, soit en moyenne 7 pour 100. Rendement sûr indiqué 93 pour 100.

Si l'on calcule la valeur négative du triangle curviligne inscrit entre les courbes des deux cylindres, on trouve 7 chevaux, 68 cent. Or, la différence entre les chevaux calculés et les chevaux indiqués est de 6 chevaux, 87 cent., chiffre sensiblement égal qui est à la fois l'explication de cette différence et son complément.

La tare de la puissance absorbée par le mouvement propre de la machine a été faite dans des conditions telles, que la tare inscrite est plus forte que celle réelle. On sait combien est faible la différence entre la machine à vide ou à charge. M. Leloutre, à la suite d'expériences, l'a fixée à 0,205, soit à vide 1 ; et à charge 1,205. Or, dans une expérience contradictoire faite dix minutes après la mise en marche, la machine froide, les presse-étoupes resserrés, ayant à la traîne une puissante transmission du poids de 4 tonnes à 160 révolutions à la minute, une autre transmission vicieuse pour la pompe du puits, cette dernière en plein débit, une courroie de $0^{m},500$ de largeur très tendue : toutes conditions qui pouvaient s'exprimer par 0,30 à ajouter au coefficient propre de la machine, nous avons eu 11 chevaux, 21 cent. pour ce travail cumulé. Bien que ce chiffre soit un peu trop fort, néanmoins je l'ai pris pour bon et admis dans les calculs.

$$\frac{11,21}{167,47} = 0,0667$$

C'est ainsi que le taux de rendement de l'indiqué à l'effectif sur l'arbre devient, en nombre rond, 0,93; mes prévisions étaient 0,92.

Consommation. — J'arrive à la question si délicate de la consommation. On comprend qu'une machine d'un système nouveau ne pouvait être livrée qu'avec de certaines garanties de consommation. Or, les constructeurs, MM. Crespin et Marteau, s'étaient engagés à donner 75 kilogrammètres sur l'arbre avec 8 kil. 1/2 de vapeur sèche, et, à titre accessoire, la machine devait faire 150 chevaux sans dépasser 0,25 d'admission dans le petit cylindre sous une pression de 6 atm. (6 k., 20).

La dépense prévue, d'après mes calculs, était de 6 kil. de vapeur pour 75 kilogrammètres sur l'arbre, et 0,23 d'introduction de vapeur à 6 kil., 20 pour 150 chevaux. La marge était donc plus grande sur la question de consommation que sur celle de la détermination de la puissance.

Dans les nombreux diagrammes dont j'ai vérifié les courbes, calculé les aires et reconnu les poids de vapeur, il ressort un fait constant : c'est la continuité ascendante du rendement jusque par delà de 25 volumes d'expansion. Le contre-amiral Labrousse, j'ai déjà eu occasion de le dire, a constaté dans d'excellentes machines à un seul cylindre que le rendement maximum est à 8 volumes ; que ce rendement reste stationnaire jusqu'à 12 volumes pour décroître au delà. Pour la machine en question, j'estimais le maximum à 16 volumes, stationnaire jusqu'à 20 volumes, pour décroître au delà. Mon appréciation était donc trop prudente, et j'ai vu avec satisfaction combien les causes négatives, si puissantes dans le mono-cylindre,

ont peu d'influence dans les machines à deux cylindres. Dans la lecture des diagrammes, faite au moyen de ma méthode, on suit les effets de la vapeur, dont on se rend alors un compte exact; elle explique cette continuité ascendante du rendement, comme elle démontre l'arrêt forcé dans celui du mono-cylindre, et jette ainsi une lumière précieuse sur ce point, si obscur, de la fonction de la vapeur en détente.

Le calcul des poids de vapeur a été fait sur la base de la pression à la demi-course du petit piston, les espaces neutres compris. Très exceptionnellement, j'ai constaté une augmentation de poids à la finale du grand cylindre; mais ces écarts étaient dus au jeu dans le mouvement du second appareil Richard, dont je faisais usage; en sorte qu'il n'y avait pas lieu de tenir compte de ces écarts. Néanmoins, aux 2 pour 100 d'estimation de perte de chaleur par rayonnement et par contact avec l'air de la masse des cylindres, j'ai ajouté 6 pour 100 pour la transmission de la chaleur à travers les parois internes, chaleur utilisée au profit du fonctionnement. C'est donc 8 pour 100 qui ont été joints à la dépense calculée sur la base de la demi-cylindrée. Je dois ajouter que les densités ont été prises dans ma table, dont les nombres sont sensiblement plus élevés que ceux de Régnault.

Pour la composition du tableau ci-joint, j'ai pris des diagrammes très dissemblables en pression initiale et en détente, afin de présenter les conditions les plus extrêmes. L'ordre d'inscription est par volumes d'expansion et par pression. On peut, de la sorte, se rendre compte du rendement avec l'élévation de la pression et de la détente.

La consommation de vapeur par cheval effectif et par heure est :

Maximum.	5k,976 à	10 volumes.		
Moyenne.	5 128	19	—	
Minimum.	4 569	26	—	25 cent.

On contestera, sans doute, la faible quantité de vapeur consommée. J'avoue que moi-même j'ai été au premier moment un peu sceptique, redoutant quelque erreur dans le calcul. Mais en présence de plus de vingt opérations contrôlées les unes par les autres, en présence des quantités constantes, si nettement déterminées, si régulières, que je n'ai jamais cessé de reconnaître dans les diagrammes du fond du petit cylindre, toute incertitude devait disparaître pour se rendre à un fait expérimental accompli. Et comme conséquence de ces observations, on peut dire que ces phénomènes accessoires, tels que condensations initiales, refroidissements par détente, réévaporations finales, dont on a beaucoup parlé et obscurci cette question, ne se produisent que dans une infime proportion dans une machine disposée et construite comme il convient.

La fonction de la vapeur s'accomplit ainsi qu'elle est définie dans mes tables, sans aucune variation. La vapeur ne suit ni la formule de Poisson, ni les variations de volumes de Régnault, et encore bien moins la loi de Mariotte.

En terminant, permettez-moi de remplir un devoir de gratitude vis-à-vis de mes collaborateurs, nos collègues, MM. Crespin et Marteau, qui ont bien voulu se charger de la construction de la machine et en assumer la responsabilité. Je dois leur rendre cette justice, c'est par le puissant concours que j'ai eu de ces constructeurs que j'ai pu arriver au but déterminé et qui a été pleinement atteint.

M. le Président demande à M. Quéruel si le poids de la vapeur consommée dans les essais dont il vient d'entretenir la Société a été contrôlé par la pesée de l'eau d'alimentation.

M. Quéruel répond que cette expérience n'a pas été possible jusqu'à présent, par suite de circonstances particulières.

M. le Président dit que pour établir avec certitude le chiffre de la consommation, il faut, de toute nécessité, jauger ou peser, au moyen d'une bâche, l'eau d'alimentation de la chaudière pendant toute la durée de l'essai, si l'on tient à présenter des chiffres indiscutables.

Pour établir des comparaisons de rendement, il faut prendre des diagrammes très fréquemment, faire des essais au frein répétés, et mesurer la dépense d'eau et de charbon, pendant un temps aussi long que possible, une semaine par exemple. Aucune déduction ne peut prévaloir contre ce mode d'opérer.

M. Quéruel reconnaît la parfaite exactitude de l'observation présentée par M. le Président, mais il tient à préciser qu'il voulait établir et qu'il croit avoir établi que le mouvement de la vapeur se produit bien conformément aux tables qu'il a dressées, et qui permettent de lire sans erreur la fonction de la vapeur dans les cylindres.

M. Gaudry croit devoir faire observer que la mesure de l'eau d'alimentation ne saurait être prise comme base dans certains cas. Ainsi pour les locomotives, dont les chaudières sont sujettes à primer, les crachements d'eau feraient croire à une dépense de vapeur bien supérieure à celle qui se produit en réalité.

M. le Président répond que dans les essais on doit toujours avoir soin de tenir compte des eaux de purge. Quelquefois même une pompe spéciale renvoie dans la chaudière les eaux de purge et celles provenant des enveloppes.

M. Quéruel insiste sur la concordance frappante des diagrammes qu'il a relevés avec ceux résultant de ses calculs, et présente un certain nombre de ces diagrammes à l'examen des membres présents. Il fait observer, en outre, qu'à 20 volumes de détente, l'ordonnée, selon ses tables, est 0,166 plus petite que l'ordonnée selon la loi de Mariotte; et que la densité du mètre cube de vapeur à 20 kil. de pression est, selon ses tables : $9^k,7943$; tandis que celles en usage portent $8^k,7696$ pour une même pression. Le coefficient de densité étant plus élevé, a élevé, d'autant, le poids de vapeur consommée.

M. LE PRÉSIDENT remarque que ces diagrammes présentent une certaine incertitude pour le point de départ des ordonnées, en raison de la forme de la courbe, qui ne marque pas avec netteté, comme cela existe dans les machines à soupapes, Corliss ou autres, le point où commence exactement la détente.

Il en résulte qu'il semble impossible de comparer rigoureusement la courbe obtenue avec celle résultant de la loi de Mariotte.

M. QUÉRUEL répond que les diagrammes, dont la courbe est infléchie au début de la détente, sont ceux du fond du petit cylindre; défaut qui ne sera que passager, étant dû à un excès de serrage de ressorts sur la tuile; ce frottement s'adoucira dans la suite du fonctionnement. Les diagrammes du bas du cylindre sont, au contraire, très nets, très vifs en ces points; et bien que l'on puisse apprécier le moment de fermeture, ce n'est pas ainsi qu'il a été procédé pour en déterminer le point précis.

Sur la base d'un diagramme partagée en dix parties égales, on prend une ordonnée p quelconque, de préférence la médiane, et l'on opère :

$$\frac{p}{P} = k,$$

P pression initiale,

k nombre coefficient de la table en regard duquel est le nombre de volumes que l'on désigne par n, qui, alors, devient diviseur du volume accompli jusqu'à l'ordonnée considérée. Si c'est à 0,50 on aura :

$$A = \frac{0,50}{n}.$$

On arrive ainsi à déterminer d'une manière précise, à 0,0001 près, la valeur de l'introduction. Ce mode d'opérer a l'avantage de permettre le choix du point de comparaison de la courbe, et l'on peut, aussi bien, opérer au commencement qu'à la fin du diagramme; le prolonger même d'une façon hypothétique, soit au-dessus, soit au-dessous du diagramme tracé.

M. HAMERS demande si l'on peut espérer que M. Quéruel effectuera bientôt le contrôle de la dépense en eau, tel qu'il a été indiqué, pour exposer à la Société le résultat de cette expérience.

M. QUÉRUEL dit que la chose présente certaines difficultés par des circonstances particulières et indépendantes de sa volonté, mais qu'il ne désespère pas de faire cet essai, et d'en communiquer les résultats à la Société.

M. HALLOPEAU donne l'analyse de sa note sur les produits bruts des usines à l'Exposition de 1878, en ce qui concerne le matériel fixe de la voie des chemins de fer[1].

1. Voir l'analyse faite par le secrétaire de la section du Matériel fixe de la Voie, p. 846 et suivantes.

M. Bourdais demande à M. Hallopeau si l'acier est déjà couramment employé à la fabrication des ⌶ pour planchers, et, si l'acier offre pour cet emploi un avantage sérieux de prix, à égalité de résistance, et surtout à flèche égale.

M. Hallopeau répond que l'usine de Denain est actuellement en train de prendre ses dispositions pour faire cette fabrication sur une grande échelle. Se basant sur les résultats connus des épreuves de rails, M. Hallopeau exprime la conviction qu'on doit obtenir des flèches moindres avec l'acier qu'avec le fer, ce qui permettra de gagner une notable partie de la hauteur des barres, et aussi d'obtenir des planchers moins épais qu'avec le fer et d'une plus grande portée. On peut consulter avec fruit à ce sujet l'ouvrage récemment publié par M. Lebasteur, ingénieur au chemin de fer de Lyon, sur *Les Métaux à l'Exposition de* 1878.

M. Le Président demande si des ruptures subites ne sont pas à craindre, dans le cas où on ferait usage d'aciers durs, ou de qualité secondaire, le contrôle ne pouvant se faire avec toute la rigueur des essais usités dans les chemins de fer.

M. Hallopeau dit qu'en effet l'emploi de l'acier, dans la construction des machines, exigera encore de grandes précautions pendant longtemps[1].

M. Gaudry demande à M. Hallopeau quelle est la longueur pratique à laquelle on peut s'arrêter pour les rails, étant donné que la fabrication peut produire des longueurs aussi considérables que celles qui ont été citées.

M. Hallopeau répond qu'à cause des difficultés de pose la longueur de 11 à 12 mètres au maximum ne saurait guère être dépassée.

M. Gottschalk dit qu'en Autriche avec des rails pesant 32 kil. le mètre, on a trouvé l'emploi des rails de 9 mètres avantageux, surtout à cause de la réduction de 50 pour 100 qui en résulte dans le nombre des joints.

M. Rubin fait remarquer, au sujet de la question soulevée par M. Bourdais sur la fabrication des ⌶ en acier, que ces pièces sont depuis un certain temps déjà employées par la marine pour faire les membrures des navires, par les chemins de fer pour les longerons de châssis de wagon; enfin, on commence à en faire usage dans la construction des ponts métalliques.

1. Mais il croit que les progrès dans cette voie seront des plus rapides. La publicité donnée partout, en France, en Angleterre, en Autriche, en Suède, aux résultats d'expériences, les perfectionnements de la fabrication des aciers communs, et surtout les soins apportés par les aciéries dans le choix de leur personnel, sont une sérieuse garantie de ces progrès.

Séance du 1er Août 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société la nomination de MM. de Comberousse et Béthouard, comme chevaliers de la Légion d'honneur et celle de M. Jordan, comme chevalier de l'ordre Suédois de l'Étoile Polaire.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de MM. Du Gourd et Paul Jamin.

Il est ensuite donné lecture des lettres suivantes de MM. Pourcel et West.

« Monsieur le Président,

« A propos du compte rendu de la séance du 4 juillet dernier, où se trouve in extenso, l'intéressante communication de M. Gautier sur la déphosphoration, j'ai quelques observations à présenter au sujet des paroles qu'à prononcées notre collègue M. Garnier.

« M. Garnier, membre de l'Industrie minérale, a lu ma communication sur la déphosphoration faite à cette société le 7 juin dernier, puisqu'il me fait l'honneur d'en citer des passages, mais il l'a parcourue plutôt que lue sans doute.

« En effet, à la page 213, séance du 4 juillet des Ingénieurs civils, on lit : « ..... on peut se demander pourquoi Samuelson, Lowthian Bell, Krupp, etc., n'arrivent pas à *scorifier* tout le phosphore.

« M. Garnier a cherché la raison et il *saisit cette occasion de donner celle qu'il a trouvée*. Dans les fontes phosphoreuses on a généralement peu de silicium ; eh bien ! c'est ce manque de silicium qui empêche la scorification..... » tout le paragraphe est à citer. La conclusion en est : qu'avec plus de silicium on enlèverait plus de phosphore. C'est précisément ce qui est

écrit en toutes lettres dans ma communication du 7 juin, page 142 (que j'ai l'honneur de vous adresser). On y lit :

« S'il s'était (M. Bell) préoccupé d'avantage des teneurs relatives du silicium et du phosphore, avec plus de silicium il serait sans doute arrivé à réduire encore la teneur en phosphore. »

« Et plus loin, à la page 147, je réponds à M. Lescure qui applique à l'opération Bessemer ma théorie de départ simultané du silicium et du phosphore « ... que la principale difficulté à vaincre sera de fixer les rela-
« tions qu'il doit y avoir entre les teneurs en silicium et en phosphore
« pour que, pendant la combustion du silicium et avant celle du carbone, le
« phosphore ait tout le temps de se scorifier. »

« Je crois donc, Monsieur le Président, que le contenu du paragraphe de la page 213 de la communication de M. Garnier, est la reproduction de ce que j'avais exposé un mois auparavant à Saint-Étienne, et que ce que M. Garnier appelle son système (page 214, réponse à M. Criner) est aussi un peu mon système.

« Dans tous les cas, je suis heureux de me trouver en communauté de vue avec un collègue aussi distingué que M. Garnier, et je vous prie de vouloir bien agréer, etc., etc. »

Signé : Pourcel.

« Monsieur le Président,

« En lisant le compte rendu très intéressant de la séance du 4 juillet, séance à laquelle j'ai regretté de ne pas assister, j'ai vu qu'un membre de la Société avait émis en 1874, que les siliciures de fer introduits dans l'acier pouvaient empêcher les soufflures.

« Je pense qu'il serait intéressant pour la Société de savoir que l'usine Revollier-Biétrix de Saint-Étienne, avait exposé en 1872, à l'Exposition Universelle de Lyon, un lingot d'acier sans soufflures fabriqué par le procédé dit au siliciure de fer.

« A la même époque, il avait été fondu et forgé dans l'usine, un lingot du même métal, du poids de 1 000 kilog. environ ; avec ce lingot, il fut fait une pièce comprenant quatre corps de pompes de compression pour presse hydraulique.

« Je dois aussi indiquer, que l'acier en question était fondu au four Martin-Siemens ; j'étais chargé de la fabrication et je fis le premier essai de ce genre, sur une indication que m'avait donnée M. Jordan en 1871. Dans cet essai qui avait complètement réussi, j'avais employé pour introduire du silicium, de la fonte Bessemer venant de l'usine de Terre-Noire

« Veuillez agréer, etc., etc. »

Signé : West.

M. Grelley donne communication de la note sur les détendeurs à vapeur.

Les cas dans lesquels il serait commode et même presque indispensable d'employer des détendeurs à vapeur sont très nombreux, et cependant ces appareils sont peu connus et peu appliqués. J'ai pensé qu'il pourrait être intéressant pour nos collègues de connaître les principaux appareils existants, aucun recueil, à ma connaissance, n'en donnant la description.

On peut diviser les détendeurs à vapeur en deux groupes :

1° Ceux qui donnent, dans les récipients avec lesquels ils communiquent, une pression constante, quelle que soit la pression dans le générateur ;

2° Ceux qui donnent, dans le récipient, une pression en rapport constant avec celle du générateur.

Dans l'application, ces deux groupes sont appelés à rendre à très peu près les mêmes services. Si, pour les seconds, la pression varie avec celle du générateur, elle varie d'une quantité d'autant plus faible que le rapport entre la pression dans le récipient et la pression dans le générateur est plus petit, et cette variation, qui dans la pratique n'est que momentanée, ne dépasse pas sensiblement celle que l'on éprouve avec les détendeurs du premier groupe lorsque, par suite de la variation de la pression dans le générateur, les organes de ces appareils se mettent en mouvement ; il y a toujours, dans ce cas, une oscillation dans la pression qui dépasse quelquefois d'une demi-atmosphère la pression d'équilibre.

PREMIER GROUPE. — *Détendeurs donnant une pression constante dans le récipient avec lequel ils communiquent, quelle que soit la pression dans le générateur.*

Ce groupe peut lui-même se diviser en deux classes :

1° Détendeurs donnant une pression constante et invariable avec un appareil donné ;

2° Détendeurs donnant une pression constante, mais quelconque, avec un appareil donné.

Je ne connais qu'un type de la première classe ; il est dû à MM. Geneste fils et Herscher frères.

Il se compose essentiellement de deux boîtes en fonte. La plus petite est renfermée dans la plus grande et communique avec la prise de vapeur par une tubulure et avec la boîte extérieure par deux soupapes d'égale section s'ouvrant l'une en dedans, l'autre en dehors. Ces deux soupapes sont réunies par une tige verticale qui se prolonge dans la boîte extérieure et supporte un cylindre en fer flottant sur un bain de mercure. Dans cette situation, les soupapes sont ouvertes et la vapeur pénètre dans la boîte extérieure. Cette boîte communique avec le récipient où l'on doit conduire la vapeur, et porte en outre une tubulure latérale et verticale dans laquelle le mercure

est refoulé. Lorsque le cylindre en fer est devenu libre par suite du passage du mercure dans la tubulure latérale, il applique les soupapes sur leurs sièges et la communication entre le générateur et le récipient est interrompue. On voit que dans cet appareil la pression dans le récipient dépend de la hauteur de la colonne de mercure dans la tubulure verticale; elle est donc fixe pour un appareil donné.

Les types de détendeurs de la seconde classe sont beaucoup plus nombreux. Les plus simples se composent d'un papillon, dont le mouvement est déterminé par la tige d'un piston plus ou moins chargé et qui, sur sa face libre, reçoit la pression de la vapeur du récipient. On peut ainsi faire varier cette pression, soit en chargeant le piston au moyen d'un levier et d'un contrepoids comme dans les appareils dits: appareils anglais, soit en le chargeant directement comme dans l'appareil de M. Giroud, soit enfin en le chargeant au moyen d'un ressort comme dans le régulateur de pression de M. Mazeline, du Havre.

M. Ribourt a imaginé un détendeur de vapeur qui est aussi employé pour la détente de l'air. C'est un tiroir cylindrique, dont les lumières sont découvertes tant que la pression dans le récipient ne dépasse pas la résistance d'un ressort que l'on peut tendre à volonté. Cet appareil est employé, notamment pour le lancement des torpilles.

Dans le détendeur de M. Tulpin aîné, de Rouen, la pression de la vapeur est transmise au piston qui fait mouvoir le papillon par une membrane en caoutchouc et par l'intermédiaire d'une colonne liquide relativement froide qui préserve le caoutchouc du contact direct de la vapeur. On évite ainsi les fuites qui peuvent se produire, lorsque la vapeur agit directement sur le piston; la charge est donnée par un levier et un contrepoids.

L'inconvénient de cet appareil réside principalement dans l'évaporation possible de la colonne liquide pendant les arrêts. Si l'on oubliait de remplir d'eau le tube communiquant avec la membrane avant l'introduction de la vapeur, le caoutchouc serait immédiatement mis hors de service et il faudrait le remplacer. Lorsque l'appareil est bien soigné, il suffit de remplacer la membrane tous les ans environ.

Des essais faits sur ce détendeur, vers 1865, par M. de Genouillac, ingénieur des mines à Rouen, fixent sa sensibilité à $^1/_4$ d'atmosphère au-dessus et au-dessous de la pression d'équilibre.

Le détendeur de M. Legat se compose d'un cylindre en fonte fermé à sa partie supérieure et clos par une membrane en cuir à sa partie inférieure. Un cylindre intérieur communique avec le générateur par une tubulure et avec le cylindre extérieur par deux soupapes d'égale section reliées par une tige verticale se prolongeant jusqu'à la membrane en cuir. Les deux soupapes s'ouvrent l'une en dedans, l'autre en dehors. Une série de leviers conjugués exerce sur la membrane de dehors en dedans une pression correspondant à sa section et à la pression que l'on veut avoir dans le récipient. La vapeur entrant par les deux soupapes, repousse la membrane et ferme l'introduction de vapeur, lorsque sa pression est égale à celle donnée par

les leviers. Le cylindre extérieur est d'une certaine longueur, afin de pouvoir conserver sur la membrane une certaine épaisseur d'eau condensée qui la préserve de l'action directe de la vapeur.

MM. Geneste fils et Herscher frères, ont très heureusement modifié cet appareil en remplaçant la membrane en cuir par une membrane métallique en cuivre, et les leviers conjugués, par un ressort à lames analogue aux ressorts de voitures.

Dans le détendeur de M. Mekarski, qui, jusqu'alors, n'a été appliqué qu'à l'air, la pression à vaincre par l'air du récipient, pour fermer l'introduction d'air comprimé, est obtenue en comprimant de l'air dans un petit réservoir par le mouvement d'un piston qui en diminue la capacité.

DEUXIÈME GROUPE. — *Détendeurs donnant dans le récipient une pression en rapport constant avec celle du générateur.*

MM. Geneste fils et Herscher frères, ont imaginé une disposition très simple résolvant le problème pour un rapport très petit, mais dont la description sans figure est assez difficile.

Voici un dispositif qui m'a parfaitement réussi et qui est remarquable par sa grande sensibilité ; elle dépasse 1/20e d'atmosphère.

L'appareil se compose de deux cylindres concentriques, l'extérieur en cuivre et l'intérieur en bronze. Ce dernier présente deux alésages, et un piston à deux diamètres glisse dans son intérieur. Des orifices situés sur chacune des parties du cylindre en bronze le mettent en communication avec le cylindre extérieur en cuivre. A l'état de repos, la petite extrémité du piston bouche les orifices situés sur la partie dont l'alésage est le plus faible. Le cylindre en bronze communique avec le générateur par sa plus petite section et avec le récipient par la plus grande, il est de plus terminé à ses deux extrémités par deux brides qui font une capacité fermée de l'intervalle situé entre les deux cylindres. Cette capacité ne peut communiquer avec le générateur et avec le récipient que par les orifices dont j'ai parlé plus haut.

Soit : s, la plus petite section du piston;
s', la plus grande section du piston;
p, la pression dans le générateur;
p', la pression dans le récipient.

La vapeur entrant par la section s, repousse le piston en exerçant sur son extrémité une pression $p\,s$.; les orifices situés à cette extrémité sont découverts, et la vapeur sortant du cylindre en bronze passe dans l'intervalle qui sépare les deux cylindres, rentre dans le premier par les orifices situés du côté de la grande section, pour de là, se rendre dans le récipient. (Ces derniers orifices ne sont jamais clos; la course du piston est limitée en conséquence.) Lorsque la pression p' est égale à $p\,\frac{s}{s'}$, le piston est éga-

lement pressé sur ses deux extrémités et lorsque p' augmente, le piston est repoussé et l'introduction de vapeur arrêtée.

La partie moyenne du cylindre en bronze se trouvant en communication avec l'atmosphère par un petit purgeur, p et p' sont les pressions effectives dans le générateur et dans le récipient et non les pressions absolues.

En reliant l'une des faces du piston aux parties fixes de l'appareil au moyen d'un ressort, on peut faire varier à volonté le rapport des pressions, et le détendeur peut alors rendre exactement les mêmes services que ceux de la deuxième classe du premier groupe; il a sur la plupart d'entre eux l'avantage de la sensibilité.

M. de Bonnard donne communication du résultat d'expériences faites à Saint-Denis sur des générateurs à vapeur munis de registres automatiques.

Tous les ingénieurs savent que le mode de chargement du combustible sur les grilles des foyers de générateurs à vapeur, joue un rôle considérable dans la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de houille.

Nous empruntons au *Traité de mécanique pratique* de MM. le général Morin et Tresca le tableau d'expériences faites à cet égard, il y a plusieurs années, à Mulhouse:

Tableau de l'influence des intervalles entre les chargements successifs.

DÉSIGNATION DE LA CHAUDIÈRE.	Nombre des expériences comprises dans le tableau.	Nombre des charges.	Poids moyen des charges.	Durée totale des expériences.	Kilogrammes d'eau vaporisée par kilogramme de combustible.	Intervalle moyen des charges.
			k.	heures.	k.	minutes.
Chaudière Dolfus, Mieg et Cie..	1	53	25.00	12.20	6.48	13.95
Idem..................	1	104	15.00	11.25	6.71	6.97
Idem..................	3	388	10.00	34.30	6.99	5.37
Chaudière Prouvost..........	2	191	11.45	25.40	7.06	8.00
Idem..................	3	611	5.17	37.45	7.77	3.55

« Ces chiffres indiquent, pour la première série d'expériences comme « pour la seconde, que la fréquence des charges est favorable à l'utilisa-

« tion du combustible; l'augmentation de la quantité d'eau vaporisée par « kilogramme de houille est régulière, et il semblerait, par conséquent, « qu'on devrait recommander de nouveaux chargements toutes les cinq « minutes; mais il faudrait alors opérer avec rapidité, et l'on ne peut « malheureusement espérer qu'un chauffeur soit toujours assez actif pour « refermer la porte aussi vite qu'il est désirable. »

Si du reste nous cherchons à nous rendre compte de ce qui se passe pendant le chargement des combustibles sur les grilles des générateurs, nous trouvons que, pour une chaudière consommant environ 120 kilogrammes de houille par heure et un chauffeur faisant des charges toutes les 5 minutes, soit de 10 kilogrammes, la durée totale d'une charge depuis l'ouverture jusqu'à la fermeture de la porte est en moyenne de 30 secondes, ce qui, par heure, représente 30 secondes multipliées par 12, égale. . . . . 6 minutes.
par 12 heures. . . . . 72 —
et par 24 heures. . . . . 144 minutes.

Il faut ajouter à cette durée le temps nécessaire au décrassage du foyer qui se renouvelle toutes les 6 heures, soit 4 fois par période de 24 heures. La durée du décrassage proprement dit est en moyenne de 6 minutes, non compris le chargement du combustible, soit pour 4 décrassages. . . . . 24 —

Ce qui donne un total de. . . . . 168 minutes, ou un peu plus de 2 heures 3/4, sans compter les ouvertures accidentelles dues, soit à l'égale répartition du combustible sur la grille, soit à la surveillance de la marche du feu.

La durée totale de l'ouverture des portes des foyers des générateurs conduits dans les conditions que nous venons d'indiquer, représente donc plus du dixième de la durée du chauffage. Or, pendant ce temps, non seulement le combustible est brûlé en pure perte, mais encore il y a refroidissement considérable de la chaudière par le courant d'air froid qui passe dans les carneaux.

Détruire l'influence de l'ouverture des portes des foyers, tout en conservant le mode de chargement par faibles quantités, suppléer mécaniquement au bon vouloir et à l'activité des chauffeurs qui, nous devons le reconnaître, négligent presque toujours de baisser le registre avant de charger, tel a été le but des expériences qui ont été faites.

Nous avons employé deux systèmes de registre. Ils reposent sur le même principe et consistent essentiellement à établir entre le tirage et la porte du foyer, une relation telle, qu'à chaque ouverture de porte correspond la fermeture presque totale du registre qui, cependant, conserve sa mobilité suivant les besoins de la vaporisation. La porte est actionnée par le registre dont le poids en détermine l'ouverture. Voici la description de ces deux appareils :

REGISTRE A PORTE ROULANTE (Fig. 1).

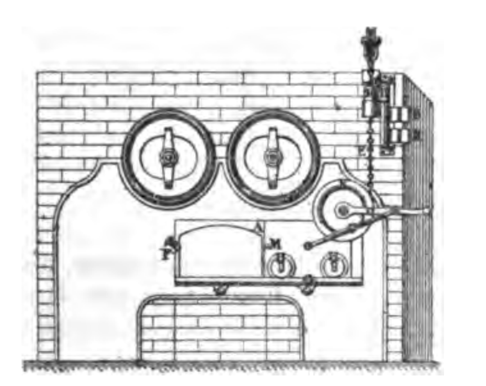
Le premier appareil se compose d'un gueulard en fonte A, fixé sur le devant de la chaudière.

La porte mobile B est montée sur deux galets H roulant sur le chemin G faisant partie du gueulard A.

La porte B, est mise en mouvement par la bielle C articulée sur la manivelle D montée sur la poulie E.

La poulie E, est une poulie à gorge sur laquelle s'enroule la chaîne du registre E'.

F est un crochet mobile servant à maintenir la porte mobile quand le foyer est fermé.



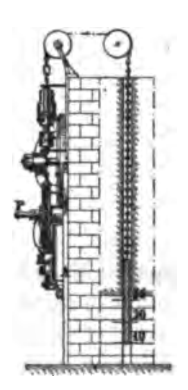


Fig. 1. — Registre à porte roulante.

Il suffit de soulever légèrement ce crochet d'un coup de pelle pour que le registre, par son propre poids, mette la porte en mouvement et ferme en même temps l'ouverture des carneaux allant à la cheminée.

La porte est refermée à la main en faisant décrire à la poulie E une fraction de circonférence au moyen de la manivelle D munie d'une poignée P.

Le crochet F, se soulève de lui-même par le contact de la porte mobile et retombe sur l'appendice M fixé sur la porte et le maintient dans sa position de fermeture.

Si on veut maintenir la porte du foyer fermée en même temps que le registre, il suffit de faire décrire à la poulie-manivelle trois quarts de circonférence environ et ramener la porte à sa position de fermeture.

Les buttées mobiles H, limitent la course du registre, la porte étant fermée.

Registre a porte a charnière (Fig. 2).

Le deuxième appareil se compose d'une porte à charnière B, munie de deux oreilles percées et traversées par le boulon I. La charnière C en fonte est fixée à demeure sur le gueulard de la chaudière. La porte B, est maintenue dans sa position de fermeture par le mentonnet à bascule D; elle est reliée par la tige T articulée en L au registre de la cheminée.

Pour ouvrir la porte, il suffit de frapper sur le mentonnet D. Le registre, par son propre poids, fait décrire à la porte un mouvement de rotation autour du boulon I.

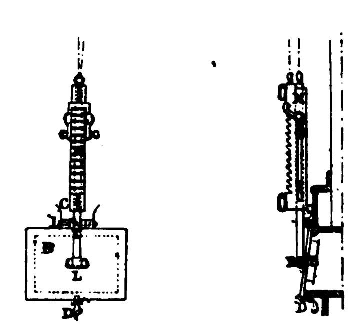


Fig. 2. — Registre à porte à charnière.

L'appareil M, placé sur le parcours de la chaîne du registre, permet de manœuvrer le registre sans ouvrir la porte. Il suffit pour cela de soulever le taquet P et de laisser glisser la crémaillère le long de la tige T de la course voulue.

Deux applications du premier système fonctionnent régulièrement depuis plusieurs années. Le dernier système fonctionne depuis plusieurs mois.

Nous avons fait divers essais à différents intervalles, par conséquent avec différents chauffeurs, et nous avons obtenu une moyenne sensiblement constante.

Voici les résultats d'une série d'expériences faites sur des générateurs à foyer intérieur.

Système de registre avec porte roulante.

Premier essai fait avec registre immobilisé.

Durée : 24 heures.

Houille consommée.	2521	kilogrammes.
Soit par heure.	105	—
Eau vaporisée.	$17^{m^3},016$	
Soit par heure.	709	—

Poids d'eau vaporisée par kilogramme de houille :

6 kilog. 750.

Deuxième essai fait avec registre fonctionnant.

Durée : 24 heures.

Houille consommée.	2 380	kilogrammes.
Soit par heure.	99	—
Eau vaporisée.	$18^{m3},275$	
Soit par heure.	761	—

Poids d'ean vaporisée par kilogramme de houille :

7 kilog. 680.

7 680
6 750

930 Différence en faveur du registre automatique d'où la proportion

930 : 6 750 :: x : 100.

$x = 13,7$ °/₀ d'économie du combustible.

Système de registre avec porte à charnière.

Premier essai fait avec le registre immobilisé.

Durée : 24 heures.

Houille consommée.	2 405	kilogrammes.
Soit par heure.	100	—
Eau vaporisée.	$16^{m3},035$	
Soit par heure.	668	—

Poids d'eau vaporisée par kilogramme de combustible :

6 kilog. 680.

Deuxième essai fait avec le registre fonctionnant.

Durée : 24 heures.

Houille consommée.	2285	kilogrammes.
Soit par heure.	95	—
Eau vaporisée.	$17^{m3},776$	
Soit par heure.	740	—

Poids d'eau vaporisée par kilogramme de combustible :

7 kilog. 779.

7779
6680

99 Différence en faveur du registre automatique d'où la proportion

99 : 6 680 :: x : 100.

$x = 14,9$ °/₀ d'économie du combustible.

Moyenne des deux essais :

$$\frac{14,9 + 13,7}{2} = \frac{28,6}{2} = 14,3.$$

Les deux mêmes chaudières ont servi aux deux séries d'essais comparatifs faits, soit en laissant le registre automatique fonctionner, soit en l'immobilisant et se servant de la porte comme d'une porte ordinaire, avec l'aide des deux mêmes chauffeurs.

Nous pouvons, du reste, ajouter que ces expériences se trouvent con-

firmées par celles faites à Ivry à l'usine de la Compagnie parisienne du gaz. La durée continue de l'essai avec diverses natures de combustibles a été d'environ un mois. Le foyer, pourvu des barreaux tournants de M. Schmitz, ingénieur à la Compagnie, présentait des conditions spéciales : ces barreaux réduisent considérablement la fréquence des ouvertures, évitent les décrassages et se prêtent à une meilleure utilisation du combustible. Néanmoins l'économie constatée a été de 8 pour 100.

Nous ferons remarquer, en outre, que les accidents qui peuvent résulter des contractions provenant des refroidissements brusques des tôles sont évités, et que le maximum de combustible qu'il est possible d'introduire par charge, est limité par suite du retour de flamme qui se produit quand le chauffeur introduit trop de combustible sur son foyer.

Ces deux systèmes, dont les dispositions varient nécessairement suivant les générateurs auxquels ils sont appliqués, remplissent le même but. Les chauffeurs préfèrent celui avec porte à charnière, dont la manœuvre est plus facile que celle d'une porte ordinaire.

Nous avons commencé des expériences sur le degré de fumivorité qu'il est permis d'espérer par l'emploi de ces registres; nous vous en ferons connaître les résultats. Nous vous entretiendrons en même temps d'une très grande simplification apportée au dernier appareil.

M. Edmond Roy ne trouve pas que le système qui vient d'être exposé présente des avantages bien sensibles au point de vue de l'économie du combustible. Avec des chaudières Boyer on obtient couramment une vaporisation de 7 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon consommé.

Au point de vue pratique, il paraît difficile d'obtenir d'un chauffeur qu'il charge le foyer toutes les cinq minutes.

M. de Bonnard fait observer qu'il a présenté des résultats obtenus sur la même chaudière ayant fonctionné dans les conditions ordinaires, puis fonctionnant avec la nouvelle porte solidaire du registre. Cette comparaison a montré les avantages incontestables de l'application de ce dispositif. Nul doute qu'ils soient obtenus sur les chaudières dont vient de parler M. Roy et dont la vaporisation de 7 kilog. excéderait alors 8 kilog.

Quant à l'intervalle entre les chargements, M. de Bonnard développe ce qu'il a dit sur le maximum de combustible qu'il est possible d'introduire; ce maximum, subordonné au plus ou moins faible tirage laissé lors de l'abaissement du registre, détermine la durée de l'intervalle entre les chargements.

M. Brull croit qu'il y a avantage à fermer le registre au moment du chargement, ce but peut être atteint sans l'emploi d'aucun appareil spécial. On l'obtient aussi par une disposition fort simple. Devant la porte du foyer est disposé un grillage relié au registre de la cheminée par une chaîne qu'il faut soulever pour avoir accès à la porte. Mais la fermeture du registre empêchant le courant d'air, laisse le chauffeur exposé à la chaleur de la réverbération du foyer, et c'est là surtout ce qui empêcha de supprimer le tirage pendant le chargement de la grille.

M. de Bonnard reconnaît que le chauffeur a la possibilité de fermer le registre sans l'emploi d'un appareil spécial, mais le chauffeur n'en use pas.

Dans l'installation du système qu'il présente, l'appareil est réglé de façon que le registre laisse toujours une ouverture nécessaire à un faible tirage. On évite ainsi la réverbération.

La solidarité établie entre la porte et le registre évite la double manœuvre résultant de l'emploi du grillage dont il vient d'être parlé. Cette double manœuvre, fréquemment répétée, constitue une véritable fatigue pour le chauffeur et, jointe à la réverbération du foyer, a probablement été cause de l'abandon de ce dispositif avec grillage.

M. Brull présente l'analyse d'une note de M. Alfred Evrard, sur la résistance des trains à la traction sur les petits chemins de service en usage dans les mines.

Pour déterminer l'inclinaison la plus convenable à donner aux galeries de mines, pour fixer le nombre de wagonnets que des chevaux de force connue pourront y traîner, il faut connaître le coefficient de résistance au roulement des berlines sur les voies de mine. Or, on n'a publié encore que fort peu de faits d'expérience sur cette matière, et ceux qui voudraient procéder par assimilation avec les chemins de fer ordinaires, s'exposeraient à de graves mécomptes, à cause des conditions très différentes de ces deux genres de chemins de fer.

M. Evrard a donc fait œuvre utile en exécutant à la houillère de Ferfay (Pas-de-Calais), deux séries d'expériences sur plusieurs types de berlines, en faisant connaître avec détails les résulats obtenus, et en les rapprochant de ceux constatés il y a quelques années aux mines de Graissesac et de Bézenet.

M. Lombard avait trouvé à Graissesac que la résistance totale au roulement des berlines sur palier, variait de $\frac{1}{49}$ à $\frac{1}{63}$ de leur poids suivant le système de roues employées.

Les essais de Bézenet avaient fourni des coefficients compris entre $\frac{1}{60}$ et $\frac{1}{68}$.

M. Evrard a trouvé, dans une première série d'épreuves faites à Ferfay, en 1877, depuis $\frac{1}{42}$ jusqu'à $\frac{1}{97}$, suivant le type de roues, le mode de graissage, le temps de service qu'avaient les berlines essayées et aussi le plus ou moins de précision de leur construction. Une seconde série d'essais faits récemment dans les mêmes mines a donné pour des berlines en mauvais état de $\frac{1}{52}$ à $\frac{1}{69}$, moyennement $\frac{1}{60}$, pour une berline en très mauvais état:

$\frac{1}{30}$; pour des trains complets en moyen état d'entretien et de graissage, de $\frac{1}{60}$ à $\frac{1}{71}$.

De ces faits M. Evrard conclut qu'avec un matériel de construction soignée, muni d'un bon système de graissage, on doit pouvoir maintenir le coefficient de frottement autour de $\frac{1}{100}$ sur des voies de $0^m,60$, bien établies et soigneusement entretenues.

On voit combien ce desideratum est encore loin des chiffres qu'on réalise couramment dans la pratique des grands chemins de fer.

M. Brull cite à l'appui du travail de M. Evrard, des expériences faites à Buruley, Lancashire, en 1867, par une commission d'ingénieurs des mines du Nord de l'Angleterre.

Avec des roues en fonte très petites, à tranche mince, folles sur l'essieu, roulant sur des rails cornières en fonte, on a obtenu de $\frac{1}{59}$ à $\frac{1}{83}$.

Le peu de concordance des résultats est attribué au jeu latéral considérable des roues sur leurs axes et à l'encrassement de quelques essieux. Le jeu latéral avait souvent plus de deux centimètres, et donnait lieu à un mouvement de lacet poussant la roue contre le rebord du rail et faisant varier constamment la résistance au roulement. L'encrassement des essieux de quelques-uns des chariots empêchait l'huile d'y pénétrer d'une façon convenable.

Il serait intéressant de savoir si pour tel type de berline, le coefficient de résistance est plus ou moins favorable suivant que la berline est vide ou chargée.

Il y aurait à étudier aussi l'influence des courbes de très petit rayon auxquelles on est obligé d'avoir recours dans les mines, et aussi l'influence du mode de pose de la voie; le jeu latéral des roues entre les rails doit avoir en effet une grande influence sur la résistance.

M. Brull présente ensuite un nouveau système de fonçage de pieux qu'il a eu occasion de voir récemment à Londres, dans l'atelier de MM. Legrand et Sutcliff. Ces mécaniciens construisent depuis plusieurs années les puits tubulaires de Norton, connus sous le nom de puits instantanés ou puits abyssiniens, et c'est en cherchant à perfectionner le mode d'enfoncement de ces tubes qu'ils ont été conduits à proposer un nouveau genre de pieu, qui paraît rendre déjà des services à l'art de construire.

Le pieu (voir le croquis ci-contre) est formé de tubes en fer, dont les longueurs se raccordent à l'aide de minces manchons à vis en acier.

Le tube qui doit former le bas des pieux se termine par une masse conique de fer forgé, qui lui est soudée ou qui s'y assemble par une bague à vis en acier.

Cette masse est chargée d'acier à sa pointe; son plus grand diamètre dépasse légèrement le diamètre des bagues de raccord.



Le mouton est formé d'une tige de fer rond d'un calibre moindre que le calibre intérieur des tubes. Il est terminé à sa partie supérieure par un anneau qui sert à l'attacher à une corde.

La corde passe sur une poulie supportée par un trépied ou montée sur le sommet même du tube en fonçage.

Il suffit de soulever le mouton de 60 à 80 centimètres et de le laisser retomber sur la tête plate de la masse en fer forgé pour obtenir un enfoncement très rapide dans les terrains de moyenne dureté, sables, argiles, calcaires tendres, etc.

Au lieu de battre comme d'ordinaire sur la tête du pieu, on le frappe presque à sa pointe; on utilise ainsi pour l'enfoncement une plus grande partie de la puissance vive du choc.

De plus le guidage du mouton est fourni par le pieu lui-même.

Enfin, la partie renflée de la masse qui constitue la pointe, subit seule un frottement considérable en traversant le terrain, le corps des tubes ne touche pas, et les bagues de raccord, n'offrant qu'une saillie un peu moindre, passent aussi sans grande résistance.

Cet ingénieux procédé donne des résultats remarquables. Dans un terrain d'alluvion, on voit pénétrer un pieu d'une douzaine de centimètres de diamètre de plusieurs centimètres à chaque coup. On obtient un mètre d'enfoncement en moins de dix minutes.

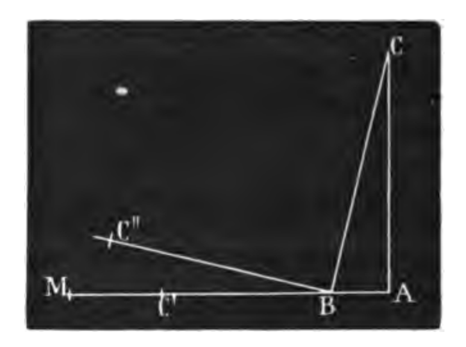
On applique ce genre de pieux à la construction des passerelles, des échafaudages, des châteaux d'eau, des palissades, à l'installation des signaux, des clôtures, des tentes, des télégraphes, etc. Déjà l'administration de la guerre en Angleterre en a fait avec succès plusieurs applications aux travaux du génie.

M. Hamers dit qu'il reconnaît au système de pieux évidés battus près du pied, l'avantage de supprimer les vibrations sur toute la longueur; mais la forme ovoïde de la pointe, en formant un trou d'un diamètre plus large que celui de la tige du pieu, a selon lui l'inconvénient d'éviter l'adhérence de celle-ci contre la matière du sol, et de priver le pieu de la solidité produite par cette adhérence.

M. Brull répond que le renflement de la pointe étant presque insensible, le terrain se referme sur le pieu et le presse aussi fortement que dans le système ordinaire. Si le terrain n'est pas de nature à se déformer pour serrer le pieu, il suffira de foncer le pieu plus avant pour lui donner la même solidité, ce que le système permet aisément, en raison même du moindre frottement contre les parois du trou.

M. Brull présente ensuite un nouveau Télémètre de poche, à double réflexion, de M. Gaumet, officier d'infanterie démissionnaire.

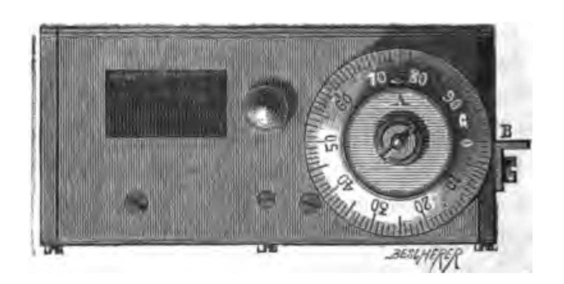
Pour estimer la distance AC d'un objet C, M. Gaumet tire une perpendiculaire AM à la ligne AC, mesure sur cette perpendiculaire, à partir de son



pied A, une base AB, et détermine ensuite l'angle ACB sous lequel on voit la base AB depuis l'objet, c'est-à-dire la parallaxe de cette base.

L'instrument utilise le principe de la double réflexion : si l'on regarde un objet C par réflexion sur deux miroirs M et N placés à 45°, on en voit l'image C′ dans une direction perpendiculaire à la ligne joignant l'objet à l'œil de l'observateur. Si l'angle des deux glaces reçoit une variation en plus ou en moins, l'angle des deux lignes allant de l'œil à l'objet et de l'œil à l'image change du double de cette variation.

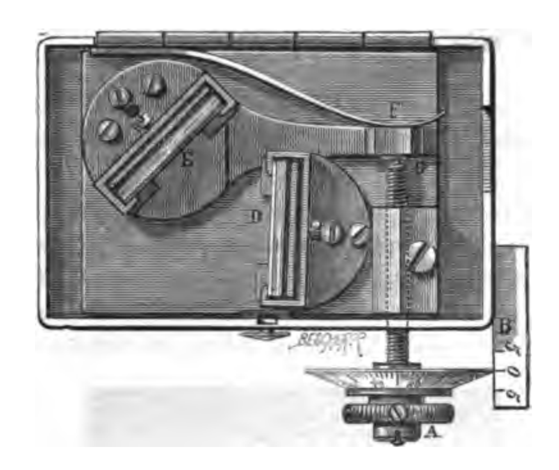
L'instrument se compose d'une très petite boîte dans laquelle sont placés deux miroirs : l'un est fixe et l'autre, monté sur un levier que presse à son



extrémité une vis micrométrique du pas d'un demi-millimètre et que rappelle un ressort, peut faire avec le premier un angle variant de 41° à 49°. La tête de la vis est un disque dont la tranche divisée en centièmes, se meut en regard d'une réglette divisée en demi-millimètres. On compte ainsi les tours et les centièmes de tours, soit les deux-centièmes de millimètre.

Placé en A, l'observateur vise le point C, les deux miroirs étant placés à 45° l'un de l'autre ou à peu près. L'image de C apparaît dans la direction AC′. On choisit sur cette direction un objet naturel ou l'on y envoie un

homme ou encore on y fait planter un jalon, et l'on fait coïncider l'image de C avec la visée directe de ce signal. Cela fait, on mesure avec un fil



de soie de 10 mètres, qui accompagne l'instrument, une base d'un ou de plusieurs décamètres, à partir de A et suivant l'alignement AC'.

Se transportant alors en B, au bout de la base, on vise de nouveau l'objet B en s'efforçant d'en amener l'image dans la direction DC, mais il faut pour cela changer un peu, en tournant la vis micrométrique, l'angle des deux miroirs. La quantité dont on doit faire tourner la vis fait connaître la variation de l'angle des glaces. Le double de cette variation donne la parallaxe ACB d'où la distance cherchée AC.

M. Brull ajoute que M. le Président a invité M. Gaumet à assister à la séance, et voudra sans doute le prier de présenter lui-même à la réunion des explications plus complètes sur la disposition de son instrument, sur son mode d'emploi, sur ses diverses applications et sur les épreuves auxquelles il a été déjà soumis.

M. Gaumet indique qu'il est indispensable dans l'emploi du télémètre de se conformer aux prescriptions suivantes :

Avoir bien soin d'aligner exactement la base sur le signal choisi comme repère. On peut pour cela se servir de l'instrument lui-même. La coïncidence ayant été produite à la première station, en penchant l'instrument d'arrière en avant on projette l'image du but sur le sol et on peut tracer ainsi l'alignement de la base.

Lorsque le signal n'est pas très éloigné, ou lorsqu'il est remplacé par un aide, pour être plus sûr de l'alignement de la base, il sera bon d'avoir recours à un jalon intermédiaire, canne, jalon, placé entre l'opérateur et le signal choisi.

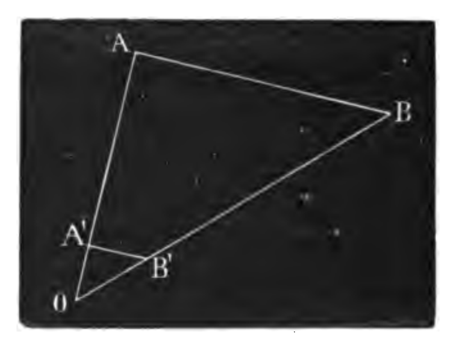
Quand on veut mesurer une distance avec une grande exactitude, il est bon de ne pas dépasser la base de $\frac{1}{50}$. Ainsi la base de 20 mètres sera

employée jusqu'à 1,000 mètres, celle de 40 mètres jusqu'à 2,000 mètres, etc. La base de 20 mètres suffira jusqu'à 2,000 mètres si l'on se contente de l'approximation de $\frac{1}{50}$.

Lorsque le point dont on détermine la distance est très éloigné et peu visible, il est avantageux d'opérer en visant directement ce point et en prenant un signal à droite; le signal est vu alors par double réflexion.

Durée d'une opération. — La mesure d'une distance de plusieurs kilomètres n'exige pas plus de trois minutes en général, et la détermination des distances inférieures à 2,000 mètres peut être effectuée en deux minutes.

Le télémètre peut servir à mesurer la distance de deux points inaccessibles A, B. On déterminera avec le télémètre les distances du point de



station O aux points AB, puis on prendra sur les directions OA, OB, des longueurs OA′ OB′ proportionnelles, aux distances OA, OB. La mesure de A′B′ donnera, par une simple proportion, la valeur de AB.

$$AB = A'B' \times \frac{OA}{OA'}.$$

On voit quel parti précieux on peut tirer du télémètre dans l'exécution des levés rapides. Un observateur placé sur une position dominante pourra, en quelques minutes et presque sans changer de place, relever les points principaux formant le canevas d'un levé expédié.

C'est ainsi que M. Gaumet a pu relever, sur le sommet de l'Arc-de-l'Étoile, la distance qui existe entre les principaux monuments de Paris.

Emploi du télémètre comme équerre à réflexion. — Lorsque le zéro de la vis micrométrique correspond au zéro de la réglette, les deux miroirs par construction font un angle de 45°, et les images des objets doublement réfléchis sont déviées de 90°. Un pareil instrument peut donc servir, comme l'équerre d'arpenteur, à élever des perpendiculaires, tout en présentant sur cet instrument les avantages de ne pas exiger de support toujours

embarrassant à transporter, d'être d'un emploi plus rapide et de posséder une plus grande justesse.

Applications du télémètre de poche. — Le télémètre de poche, essentiellement portatif, d'un maniement commode, d'une exactitude suffisante, est susceptible de nombreuses applications.

Au point de vue militaire, son emploi est tout indiqué sur le champ de bataille, dans les reconnaissances, aux avant-postes, dans la guerre de siège.

Au point de vue topographique, l'emploi d'un pareil instrument sera des plus avantageux dans l'exécution des levés expédiés. On pourra, au moyen de cet instrument, comme cela a été montré plus haut, relever, en quelques minutes et presque sans changer de place, les points principaux formant le canevas d'un levé.

Le télémètre pourra être avantageusement employé par les ingénieurs dans l'exécution de certains avant-projets, par les géomètres dans les opérations d'arpentage, en même temps qu'il devient une partie indispensable du matériel scientifique de tout voyageur chargé de l'établissement d'un levé chorographique.

Appréciations. — Les expériences faites par les nombreuses commissions chargées d'expérimenter le télémètre Gaumet ont fait ressortir les avantages de cet instrument et en ont sanctionné la valeur. Tel a été l'avis du jury de l'Exposition universelle de 1878, qui, reconnaissant les services que peut rendre cet instrument, a décerné à l'inventeur une médaille d'argent.

M. Hamers trouve que le principe de ce télémètre offre beaucoup de ressemblance avec celui de l'ancien appareil connu sous le nom de l'équerre à miroirs. Les deux instruments deviennent à très peu près identiques lorsque le télémètre de M. Gaumet fonctionne comme équerre, c'est-à-dire quand les miroirs sont inclinés à 45 degrés.

M. J. Armengaud jeune constate que l'usage du télémètre, d'ailleurs très ingénieux, qui vient d'être signalé à la Société, nécessite l'emploi d'une base qui est de 10 mètres au moins, pour les petites distances. Or il est certaines circonstances dans lesquelles l'on ne peut même se procurer cette base, par exemple, lorsque la station où se trouve l'observateur est une tour, un phare, un bateau en mer.

Cette sujétion est évitée par le télémètre qui a été récemment imaginé par M. Landolt médecin oculiste très distingué de Paris.

Ce télémètre est fondé sur le principe de la réfraction à travers un prisme à angle variable composé de deux prismes élémentaires, tournant l'un contre l'autre autour du même axe, en sens inverse et avec la même vitesse. Ces prismes sont tous deux percés d'une ouverture centrale, coïncidant avec l'axe de rotation, et dont la surface est égale à la moitié de la surface pupillaire de l'œil, de telle sorte que l'observateur qui regarde à travers le centre de l'instrument voit à la fois à travers l'ouverture et à travers la masse de verre des prismes.

Dans la position initiale les prismes sont accolés, leurs faces extérieures

sont parallèles et l'observateur voit les objets simples, puisque dans cette position l'effet des prismes se neutralise. Mais, dès qu'on fait tourner les prismes l'un sur l'autre, leurs faces extérieures s'inclinent en formant un angle de plus en plus grand ; la partie des rayons lumineux qui passe en dehors de l'ouverture est déviée et l'objet se dédouble. En tournant davantage, les deux images s'écartent de plus en plus, jusqu'à ce qu'elles aient atteint le maximum que l'instrument permet, ce qui arrive quand les sommets des prismes coïncident. Les figures ci-contre montrent la position extrême du double prisme.

On comprend qu'à l'aide d'un objet de grandeur connue et à l'aide de la rotation des prismes nécessaire pour amener deux images de cet objet dans une position donnée, par exemple dans une position telle qu'elles se touchent par leurs bords opposés, on pourra déterminer la distance qui sépare l'objet de l'instrument. Pour un même objet, un homme, un cheval, un peuplier, il est évident qu'il aura fallu tourner d'autant moins que l'objet sera plus éloigné. Cette distance est donnée par une table à deux entrées, sur laquelle sont inscrits les nombres indicatifs de cette distance correspondant à l'angle de rotation des prismes, et cet angle se lit sur la graduation qui est gravée sur l'une des faces de la boîte circulaire de l'instrument.

M. Gaumet objecte que si le télémètre de M. Landolt dispense de la base près de l'observateur, il nécessite près du point dont on veut mesurer la distance, une base qui a le double inconvénient d'être souvent plus petite, incertaine, et par suite doit donner une mesure moins approchée qu'avec le télémètre de son système.

M. Vallot porte à la connaissance de la Société qu'il a eu plusieurs fois l'occasion de se servir du télémètre de M. Gaumet et qu'il a obtenu avec cet instrument d'excellents résultats. Entre autres expériences qu'il a faites, il cite la mesure d'une distance de 10 kilomètres effectuée sur le bord de la mer. La base prise n'était que de 10 mètres, et malgré cette condition défavorable, il n'a trouvé qu'une différence de $\frac{1}{30}$ entre la mesure donnée par l'instrument et la distance mesurée sur la carte.

M. Gaumet fait connaître à la Société un autre instrument de son invention qu'il désigne sous le nom de Campylomètre.

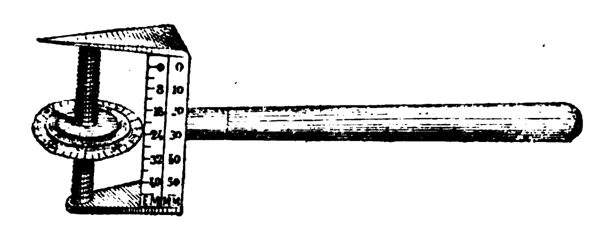
Le campylomètre[1] est un petit instrument de poche destiné à donner, après une seule opération et par une simple lecture : 1° la longueur métrique d'une ligne quelconque, droite au courbe, tracée sur une carte ou un plan ; 2° la longueur naturelle correspondant à une longueur graphique sur les cartes au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{100000}$ et sur les cartes dont les échelles sont des multiples ou des sous-multiples simples des précédentes.

1. Καμπύλος, courbe, μέτρον, mesure.

Le campylomètre est une application d'une propriété de la vis micrométrique déjà mise à profit par M. Gaumet dans la construction du télémètre de poche dont il est l'inventeur.

Cet instrument consiste en un disque denté dont la circonférence est exactement de 5 centimètres. Les deux faces de ce disque portent chacune un système de divisions : l'une est divisée en quarante parties, l'autre en cinquante parties.

La circonférence du disque (5 centimètres) correspond à 4 kilomètres à l'échelle du $\frac{1}{80000}$ et à 5 kilomètres de celle du $\frac{1}{100000}$; la division au $\frac{1}{40}$ du disque à la première échelle mesure 100 mètres, il en est de même de la division au $\frac{1}{50}$ pour la deuxième échelle.



Le disque denté se meut sur une vis micrométrique dont le pas est de 0m,0015, en regard d'une réglette portant des graduations espacées d'une longueur égale au pas de la vis et représentant des longueurs :

1° De 5, 10, 15, 20. . . . . 50 centimètres à l'échelle métrique ;

2° De 5, 10, 15, 20. . . . . 50 kilomètres — du $\frac{1}{100000}$;

3° De 4, 8, 12, 16. . . . . 40 — — du $\frac{1}{80000}$.

La vis micrométrique est fixée dans une monture recourbée de manière à former une pointe servant de guide.

Pour se servir du campylomètre, amener le zéro du disque en regard du zéro de la réglette, puis placer l'instrument sur la carte dans une position perpendiculaire, la pointe servant de guide, et promener le disque denté sur la ligne droite ou sinueuse dont on veut avoir la longueur.

L'opération terminée, remarquer la dernière graduation de la réglette, au delà de laquelle le disque s'est arrêté, ajouter à la valeur de cette graduation la longueur complémentaire fournie par la division du disque qui est en regard de la réglette.

Dans le cas de la mesure métrique d'une ligne, ajouter au nombre de centimètres donné par la graduation supérieure le complément en millimètres fourni par la division au $\frac{1}{50}$.

Le campylomètre a été spécialement construit pour les cartes au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{100000}$, un calcul facile à faire sur les résultats permettrait de l'utiliser sur des cartes dont les échelles seraient des multiples ou des sous-multiples simples des précédentes.

Cet instrument peut d'ailleurs servir pour toute carte ou tout plan dont on connaît l'échelle numérique. Il suffira dans ce cas de multiplier la longueur de la ligne exprimée en millimètres par le dénominateur de l'échelle divisé par 1,000.

Ainsi sur une carte anglaise au $\frac{1}{63360}$, une longueur de 155 millimètres correspondra à une longueur naturelle de 63 360 × 155 ou 9 820^{m},80.

D'après ce qui précède, on voit que l'emploi du campylomètre n'exige pas le tracé, sur la carte, de l'échelle graphique, mais bien la connaissance de l'échelle numérique. Dans le cas où l'échelle graphique serait seule connue, l'instrument pourrait servir comme rapporteur à l'échelle et être employé de la manière suivante.

Après avoir fait suivre au disque denté le chemin à mesurer, porter l'instrument sur le zéro de l'échelle, promener le disque en sens inverse le long de l'échelle jusqu'à ce que le zéro du disque revienne en regard du zéro de la réglette. L'endroit où s'arrête le disque sur l'échelle indique la longueur de la ligne mesurée sur la carte. Si l'échelle est plus petite que la ligne mesurée, porter l'instrument de nouveau sur le zéro autant de fois que cela sera nécessaire.

Le campylomètre peut aussi servir à rapporter sur une carte une longueur naturelle; ainsi pour rapporter sur une carte à l'échelle du $\frac{1}{20000}$ une longueur de 1 200 mètres, il suffira de disposer le disque denté de manière que la position du disque marque une distance quadruple, c'est-à-dire de 4 800 mètres (report au $\frac{1}{80000}$); cela fait, promener le disque dans la direction donnée, jusqu'à ce que le zéro du disque revienne en regard du zéro de la réglette, cette limite marquera l'extrémité de la longueur à reporter.

Les différentes applications que nous venons d'énumérer nous dispensent d'insister sur les avantages de l'emploi du campylomètre. Cet instrument, extrêmement simple, remplacera très avantageusement les procédés aussi longs qu'inexacts en usage jusqu'ici pour la mesure des distances, cette partie principale de la lecture des cartes.

Son emploi, dans les mesures nécessaires pour l'établissement des ordres de marche, économisera aux officiers d'état-major un temps précieux. (On peut dire que cet instrument, imaginé en particulier pour servir à la lecture

de la carte au $\frac{1}{80000}$, devient le complément indispensable de l'emploi de cette carte.) Le campylomètre dispensera du compas, du double-décimètre et du tracé de l'échelle graphique, qui peut ne pas se trouver sur le fragment de carte que l'on a à sa disposition. Il peut être appliqué à la mesure de toute espèce de courbe, sans exiger le recours au calcul, souvent très compliqué. Le campylomètre peut être facilement employé en marche, même à cheval, sur la paume de la main ou la fonte de la selle, avantage bien appréciable pour les officiers montés.

Ajoutons que la partie essentielle du campylomètre peut être vissée à l'extrémité d'un porte-mine et que l'on obtient ainsi réunis en un seul, deux objets souvent indispensables.

M. le Président informe la Société qu'il vient de recevoir une lettre de M. Colladon, ingénieur, conseil de l'entreprise de M. Favre, lui annonçant le décès profondément regrettable de l'habile et persévérant entrepreneur du percement du grand tunnel du Saint-Gothard. M. Louis Favre, bien qu'il ne fit pas partie de notre Société, était connu et estimé de tous nos collègues qu'il accueillait toujours avec empressement, toutes les fois qu'ils allaient visiter sur place ses intéressants travaux. Il avait sous ses ordres quelques élèves de l'École centrale.

Cet homme de génie, dont le nom fera époque dans l'art du percement des grands tunnels, a démontré qu'il est possible aujourd'hui d'entreprendre et d'achever en huit années, dans les roches primitives les plus accidentées, un tunnel de grande section long de 15 kilomètres n'ayant d'autres ouvertures que ses deux extrémités.

M. Favre n'avait pas fait d'études d'ingénieur, mais il était doué d'une haute intelligence pratique ; son activité et son énergie lui permettaient de lutter contre tous les obstacles et, laissant de côté tout faux amour-propre, il savait recourir aux conseils et distinguer les ingénieurs qui pouvaient lui être utiles par leurs connaissances théoriques et pratiques en vue de ses travaux.

Né en 1826, dans le bourg de Chêne, canton de Genève, de parents génevois et d'un père charpentier qui le destinait à la même vocation, il était parti à l'âge de dix-sept ans pour faire son tour de France, il en profita pour développer ses connaissances et suivre quelques cours d'architecture.

Depuis lors, il a entrepris pour son compte ou coopéré à un grand nombre de travaux importants, ainsi de 1846 à 1851 : il a été employé aux travaux de Charenton par la Compagnie de Paris à Lyon ; de 1852 à 1854, entreprise des parachèvements de la ligne de Montbard à Dijon et de l'installation de la gare de Vaise ; en 1855, entreprise de la ligne d'Augré avec un tunnel important dans les marnes; de 1856 à 1860, achèvement de la ligne de Lyon à Genève, allongement du tunnel du Credo. Ligne d'Oron, comprenant les tunnels de Grandveaux et de la Cornallaz. En 1860, entreprise du reste de la ligne, de Lausanne à Fribourg et la partie Française de la

ligne Franco-Suisse, comprenant des viaducs et souterrains etc., etc.; de 1863 à 1865, entreprise de la ligne de Chagny à Nevers; le tunnel du Creusot de 1000 mètres exécuté dans les granits porphyres et quartz. — Travaux de dérivation des eaux de la Vanne. Il a été admis à soumissionner la construction des grands égouts de Paris et les travaux de raccordement au mont Cenis partie Française.

En 1872 M. Favre soumissionna le grand tunnel des Alpes avec une économie de 15 millions sur les autres soumissions et une diminution d'une année pour l'achèvement des travaux. Nommé adjudicataire, ses travaux d'installation et de percement commencèrent en septembre à l'extrémité Sud, et fin décembre à l'extrémité Nord.

Le 19 juillet dernier la galerie d'avancement atteignait 7096^{m},30 du côté de Goschenen et 6460^{m},10 de l'autre côté.

Ce jour-là M. Favre était entré à sept heures du matin dans le tunnel de Goschenen accompagné du chef de section, M. Stockalper et d'un ingénieur en chef de la Compagnie P.-L.-M., il revenait à onze heures et était à 3000 mètres de l'ouverture quand une douleur violente et subite le força de s'asseoir. Un instant après il était mort, dans l'intérieur de ce tunnel; glorieux tombeau témoin de ses succès. Son nom restera désormais immortel comme cette œuvre qu'il n'a pu voir achevée.

MM. Bocquet, Dacosta, Dargent et Huber ont été reçus membres sociétaires.

MÉMOIRE

SUR LE LAURIUM

PAR M. ALFRED HUET.

Alfred Geyler, notre regretté camarade et collègue, mon collaborateur et ami de trente ans et moi, ayant été appelés au commencement de 1873, par M. J. B. Serpieri, l'inventeur du *Laurium moderne*, à visiter cette intéressante contrée, à diriger les recherches, pour rendre possible à nouveau l'exploitation de ces mines, nous avons projeté et mis à exécution toutes les installations et établissements qui fonctionnent actuellement.

Dans cette note, je me suis proposé de résumer, aussi sommairement que possible, la somme des travaux accomplis et les résultats auxquels ils ont donné lieu, tant avant que depuis la fondation de la Société Française des *Mines du Laurium*.

En groupant les diverses observations qui ont été faites jusqu'à ce jour, j'espère qu'elles pourront constituer un point de départ, un centre autour duquel viendront se joindre celles, très nombreuses encore, que l'avenir nous apportera, afin de créer ainsi et peu à peu une tradition qui, plus tard, servira de guide certain à ceux qui seront appelés à nous succéder.

Tous les documents que nous avons réunis ici, ont été pour la plus grande partie, sinon pour la totalité, le résultat des travaux entrepris par la Compagnie Française des *Mines du Laurium* puisque, avant elle, il n'y avait eu que des recherches très limitées, relativement, si on les compare aux grands et importants travaux entrepris par cette Compagnie.

Les documents que nous possédons aujourd'hui sont dus aux observations de nos actifs et intelligents collaborateurs, MM. les Ingénieurs Thys et Depian.

A ce dernier Ingénieur, particulièrement chargé de la direction du service de l'exploitation, revient plus spécialement l'étude de la partie géologique et la confection de la carte géologique des concessions.

Chargé depuis 1872 du service de l'exploitation, M. Depian est celui d'entre tous qui a contribué pour la plus grande part à l'étude de cette intéressante contrée.

La confection du plan topographique a été confiée à M. L. Chollet.

La création d'une semblable entreprise n'a pu être réalisée, comme on le pense bien, sans une dépense énorme de volonté et d'énergie; chaque pas en avant ne pouvait être accompli qu'à la condition de vaincre un obstacle. Absolument privés des secours matériels dont on est entouré dans nos pays, il a fallu pourvoir à tout, là où tout alors faisait défaut, et où la main-d'œuvre n'était représentée que par des bergers plus ou moins sauvages qu'il fallait discipliner d'abord, avant de les transformer en ouvriers.

C'est dans de semblables conditions que les Établissements du Laurium ont été créés et amenés à l'état de prospérité où ils sont actuellement. Grâce au dévouement et à l'activité de nos collaborateurs, grâce surtout à la haute expérience de M. H. Roux, à la grande habileté, à l'énergique volonté de M. J. B. Serpieri, l'œuvre si laborieuse et si pénible, quoique bien attrayante, de la création, est aujourd'hui accomplie : elle a trouvé, d'ailleurs, dans le succès la juste récompense à laquelle elle avait droit.

Les difficultés du début sont évanouies et oubliées, les Établissements achevés et en pleine et lucrative activité. Les lois de gisement des minerais reconnues, rendent les recherches faciles en leur donnant une entière sécurité; il suffit maintenant pour assurer un long avenir à l'entreprise d'aller franchement devant soi avec la confiance la plus complète.

Le jour du repos relatif est arrivé, il ne reste plus qu'à améliorer peu à peu les détails, à mesure que les progrès incessants de l'industrie en indiqueront la nécessité.

LE LAURIUM ANTIQUE.

Les *Mines du Laurium* ont été, dans l'antiquité, un centre très actif de production en plomb et en argent qui, pendant une assez longue période de siècles, a été une des principales sources où les Athéniens puisaient leurs richesses; mais, quand et par qui ces mines ont-elles été découvertes et attaquées au début? c'est ce que l'on ignore encore et probablement ce que toujours on ignorera.

M. A. Cordella, Ingénieur qui a été employé aux travaux de recherches avant la constitution de la Compagnie Française des *Mines du Laurium*, et que nous avons eu comme collaborateur à cette époque, en même temps que M. Depian, s'est livré dans les auteurs anciens de son pays, à des recherches auxquelles nous avons emprunté les renseignements suivants :

En l'an — 600, du temps de Solon, le manque de métal à Athènes permet de supposer qu'alors, les *Mines du Laurium* n'étaient que peu et même pas encore en exploitation.

En — 520, on constate que le budget athénien mentionne dans ses recettes une somme de 120,000 dragmes comme provenant du 1/24 prélevé par l'État sur le produit des mines.

En — 480, sous Thémistocle, cet impôt rapporte 200,000 dragmes, et en — 450, les mines semblent avoir atteint l'apogée de leur activité.

Lors de la guerre du Péloponèse, cette prospérité disparaît brusquement pour ne plus se relever malgré les efforts qui furent faits.

Ainsi en — 360, on voit Xénophon échouer dans ses tentatives pour pousser les Athéniens dans des associations, ayant pour but la reprise et le développement de l'exploitation des mines abandonnées du Laurium.

Ainsi en — 336, sous Philippe de Macédoine, on constate dans les mines du Laurium un grand nombre d'accidents.

En — 318, il semble qu'il y a eu une reprise de travaux, puisque l'archonte Démétrius de Phalère a pu dire alors, suivant Strabon, que « les Athéniens voulaient extraire Pluton des entrailles de la terre. »

En — 146, les Romains sont maîtres des *Mines du Laurium*, et Strabon dit que de son temps, « les exploitants utilisaient, en les refon-« dant, les scories provenant de la fonte des anciens mineurs en les « mélangeant avec les minerais que eux-mêmes extrayaient des tra-« vaux dans lesquels on était rentré. »

Du temps de Pausanias, en l'an 2 de notre ère, les travaux étaient très vraisemblablement complètement suspendus depuis un certain temps, puisque Pausanias a écrit que « autrefois il y avait dans « l'Attique des travaux de mines très importants. »

Ainsi donc, voici une longue période de sept siècles pendant laquelle on peut suivre les travaux du Laurium sans pouvoir néanmoins déterminer exactement ni leur commencement, ni leur interruption, mais toutefois l'on sait, d'une manière certaine, que depuis Pausanias il n'en est plus question dans aucun auteur ; et, ce n'est que depuis peu d'années, en 1865, que réapparaît le *Laurium* comme district métallifère.

A en juger par l'immensité des travaux qu'ont ouverts les mineurs anciens, par les amas si considérables de scories, résidus de leur fusion, les déblais de mines, rejets de leurs triages ou de leurs lavages, dont il est impossible de se faire une idée exacte si on ne les a vus, ces mines ont dû produire en métal, tant plomb qu'argent, des valeurs énormes dont on a tenté de se rendre un compte plus ou moins approximatif; mais à dire vrai, nous n'attachons à ces chiffres fantaisistes aucune foi, et nous pensons que ce ne sera que plus tard qu'il sera possible, alors que les exploitations nouvelles auront fourni des éléments de calcul, d'émettre à ce sujet une idée qui néanmoins ne sera jamais que fort hypothétique.

Le *Laurium* a été et est dépourvu de filons réguliers, tous les minerais s'y récoltent dans des gisements appartenant à la grande classe des gîtes dits irréguliers. Le minerai de plomb, que les anciens ont seul extrait, n'a très certainement jamais tenu plus de 15 p. 100 en moyenne dans les plus belles parties, ce qui était fort beau, eu égard à la masse et à la richesse en argent, qui bien rarement descend au-dessous de 2 kilogr. pour 1,000 kilogr. de plomb.

LE LAURIUM MODERNE.

En 1859, M. le marquis Pianori se trouvait en Sardaigne, dans la fonderie de M. Enrico Serpieri où l'on traitait le plomb provenant des anciennes exploitations romaines.

La vue de ces matières lui remit en mémoire qu'il en avait rencontré de semblables et en quantité considérable dans l'Attique, aux environs d'Athènes, alors qu'il parcourait le pays en chasseur.

Il fit part de ce souvenir à son ami, le propriétaire de la Fonderie, lequel fit venir une caisse de ces scories grecques; mais, distrait par d'autres soins, M. E. Serpieri laissa la caisse sans l'ouvrir, pendant plus de deux années après sa réception.

A cet époque venait, en Sardaigne, un jeune Grec qui se livrait au commerce des fromages qu'il achetait dans la montagne aux bergers sardes, et dont il faisait ensuite l'expédition hors de l'île. En même temps qu'il se livrait à son commerce spécial, ce jeune Grec qui avait occasion, pendant ses visites aux bergers, de rencontrer souvent des amas de scories, les indiquait à M. E. Serpieri moyennant une remise que lui faisait celui-ci.

En 1861, un petit bateau grec vint en Sardaigne pour y prendre, et le transporter à Marseille, un chargement de scories que M. E. Serpieri avait vendu à une fonderie de cette ville. Le patron de ce petit navire, surpris par la nature de ce chargement, raconta que dans son pays, à quelque distance d'Athènes, dans une localité dite *Laurium*, près d'un petit port du nom d'*Ergastiria*, où il avait eu occasion de se réfugier plusieurs fois, alors qu'il était trop vivement chargé par le mauvais temps, se trouvaient des accumulations immenses de pierres semblables à celles dont on lui confiait le transport.

Cette observation du patron grec, faite en présence du marchand de fromages, rappela à M. E. Serpieri qu'il avait reçu une caisse d'échantillons de ces scories, il la fit ouvrir seulement alors, et après essais, ces scories furent trouvées riches et de bonne qualité.

Pendant qu'on se livrait à ces esssais, qu'on discutait sur la provenance de ces scories, sur l'opportunité de les aller examiner, le marchand de fromages avait subitement disparu ; sans perdre de temps il avait regagné son pays pour aller sur les lieux indiqués par le marin, son compatriote, vérifier par lui-même l'importance des dépôts dont le volume fut évalué à 2,500,000 mètres cubes.

Sans perdre plus de temps, il demanda à son gouvernement la concession de ces *verres* sous prétexte de les revendre pour en fabriquer des bouteilles.

Sa demande échoua, parce que le gouvernement reconnaissant que ces dépôts reposaient en grande partie sur des terrains appartenant à des particuliers, et notamment à la commune de *Kératea*, il ne lui était pas possible d'en disposer.

Le marchand de fromages ne se tint pas pour battu, il prit alors à location de la commune de *Kératea*, moyennant une redevance annuelle de 200 dragmes, le droit de prendre dans ces tas tout le verre qui lui plairait, et ce, pendant une longue période d'années.

Pendant que ceci se passait en Grèce, M. E. Serpieri, à la suite de ses essais concluants, en avisa son fils, M. J. B. Serpieri qui résidait à Marseille, et celui-ci, à son tour, partit pour la Grèce où il arrivait au moment où les contrats venaient d'être signés entre le marchand de fromages et la commune de Kératea.

A son arrivée en Grèce, M. J. B. Serpieri se rendit sur les lieux où, en constatant l'immensité des dépôts, il apprit en même temps qu'il avait été devancé, qu'un contrat avait été passé, donnant à un autre ce que lui-même venait chercher. Son premier soin fut alors de se procurer cette convention pour la soumettre à l'examen des légistes qui la déclarèrent nulle ; ce qui fut en effet admis par les tribunaux.

Fort de cette position, M. J. B. Serpieri put alors faire un nouveau et valable traité avec la commune de Kératea, et devint ainsi propriétaire de la plus grande partie des scories du *Laurium*. Ceci se passait en 1863.

Nanti de titres réguliers, M. J. B. Serpieri revint alors à Marseille où, avec l'aide puissante de M. Hilarion Roux, il fonda la *Société métallurgique du Laurium*.

Quelques mois après on voyait au fond de la petite baie d'Ergasti-

ria, et sur la plage même, s'élever la Fonderie de Plomb qui y fonctionne encore, et se tracer en même temps pour l'exploitation des scories, des routes et un chemin de fer, le premier, et aujourd'hui encore, le plus important de la Grèce.

Depuis la création de cette Usine, les fours n'ont pas cessé de produire, alimentés par les scories et les déblais anciens. Comme on le pense bien, cette fonte active devait conduire à l'épuisement des réserves accumulées par les anciens, et l'on voit effectivement s'approcher rapidement le jour où, les scories disparaissant, disparaîtra aussi avec elles la Fonderie de la *Société Métallurgique.*

La grande prospérité qui marqua les débuts de la *Société Métallurgique du Laurium*, en suscitant la jalousie de quelques-uns, amena des difficultés entre les créateurs de la Fonderie d'Ergastiria et le gouvernement grec.

Chacun de nous a pu suivre la marche des négociations qui furent, à ce sujet, entamées diplomatiquement entre les gouvernements de France et d'Italie et la Grèce ; elles eurent pour résultat la cession, à une Société grecque, des Usines, des scories et déblais de surface avec réserve expresse, de la part des cédants, de la propriété du fond, c'est-à-dire des Mines que l'on ne connaissait pas alors, mais dont on devait naturellement soupçonner l'existence.

Les Grecs prirent donc possession, et à partir de ce jour fonctionna une Société nouvelle sous le titre de *Société Grecque des Usines métallurgiques du Laurium.*

A partir de ce moment aussi, MM. H. Roux et J. B. Serpieri, restés maîtres du fond, firent commencer les recherches qui conduisirent à la découverte des anciens travaux souterrains. C'est à la suite de ces investigations que fut créée, en 1876, la *Société Française des Mines du Laurium*, qu'il importe bien de ne pas confondre avec la *Société Grecque des Usines métallurgiques du Laurium.*

Telle est, rapidement exposée, l'histoire de la découverte moderne des anciennes Mines du Laurium ; essayons maintenant de les étudier au point de vue technique.

LE LAURIUM

1878

Allure générale du terrain. — Le district minier du *Laurium* occupe un massif peu élevé de l'Attique, qui s'étend le long de la côte orientale de la mer Égée, depuis le cap Calonne, jusque vers le port de Dakalio ; la belle vallée de Kératea fait sa limite occidentale. Le point culminant de ce massif est le pic du mont Ripari dont la cote, au-dessus du niveau de la mer, est environ de 375 mètres.

Considéré dans son ensemble, le terrain du *Laurium* est géologiquement composé d'une alternance de couches de calcaire marmoréen et de schiste dont l'âge, faute de fossiles, n'a pu être encore déterminé.

Si l'on suit l'échelle de superposition des couches, en commençant par la surface pour s'enfoncer dans le sol, on trouve :

Une première assise de calcaire, que nous avons appelé *calcaire supérieur ;* enlevée en grande partie par érosion, cette couche n'a laissé sur le sol actuel que d'assez rares témoins.

Le schiste que nous appelons *schiste supérieur*, gît immédiatement au-dessous de ce premier dépôt et constitue à la surface des îlots importants. La puissance maxima que nous connaissons à ce dépôt est de 60 mètres environ.

Le calcaire qui lui succède, dit par nous *calcaire moyen*, se montre en masses considérables en affleurement ; sa plus grande puissance dans les concessions est de 55 mètres.

Immédiatement au-dessous de ce calcaire repose le dépôt schisteux appelé *schiste inférieur*, jusqu'à ce que l'approfondissement de nos puits, s'il vient à rencontrer un nouveau schiste, nous amène à changer ce nom d'*inférieur* en *moyen*. Ce schiste, dont la puissance va jusqu'à 120 mètres, affleure également sur de grands espaces.

Enfin, la couche la plus profonde qui nous soit connue à ce jour, est un beau calcaire marbre blanc, que nous désignons sous le nom de *calcaire inférieur*. Son affleurement ne se laisse voir qu'en deux points : l'un, au fond de la vallée de Berzeco; l'autre, à la limite Sud des concessions. Par le puits Hilarion, ce calcaire a été coupé déjà sur une hauteur de 104 mètres, sans qu'on en ait encore rencontré la fin.

Pour l'observateur placé en des points convenablement choisis, toutes les lignes d'affleurement de ces superpositions successives, de schistes et de calcaires, apparaissent et frappent l'œil avec une netteté surprenante.

En effet, toutes les couches schisteuses, plus facilement rendues meubles par les actions décomposantes météorologiques, ont permis à une végétation très active de se développer et le sol schisteux est couvert de forêts de pins; le terrain calcaire, au contraire, est resté aride et absolument à nu.

Vue d'un point culminant, la surface embrassée par le regard se projetant sur le plan horizontal, donne un effet topographique très remarquable dans lequel de grandes teintes vertes, que la planche 150 indique en carmin, représentent les dépôts schisteux, tandis que de grandes teintes jaunâtres, grisâtres ou rougeâtres, indiquent les dépôts du calcaire, que la carte géologique représente par le bleu. Les lignes de contact sont donc tracées sur le sol par la limite de la végétation.

Le même effet se reproduit naturellement, si d'un autre point et à une altitude moindre, on observe le terrain dans ses grandes dénivellations qui donnent ainsi des coupes projetées sur le plan vertical.

Comme détail curieux à signaler parmi les accidents de surface, nous citerons, sur le plateau dit de Berzeco, une large excavation carrée de plus de 100 mètres de côté, ayant une profondeur qui dépasse 40 mètres, et dont les parois sont bien régulièrement coupées suivant des plans verticaux. Cet affaissement, que nous avons appelé trou de Kitzos, du nom d'un brigand fameux qui pendant longtemps, paraît-il, avait trouvé refuge dans les si nombreuses excavations du *Laurium*, ne peut être, à cause de son importance, attribué à un effondrement de travaux anciens; il est très probablement dû à un éboulement provoqué par la destruction de grottes naturelles qui existaient dans les calcaires du fond.

Les travaux actuellement en cours, cheminant au fond vers ce point, s'en rapprochent peu à peu, et dans un temps qui n'est pas très éloigné, il deviendra possible de trouver l'explication de ce phénomène dont la raison d'être nous échappe encore.

Plissement.— Si l'on étudie le sol du plateau dit de *Camaresa*, on voit qu'il est composé de deux roches schisteuses bien distinctes. La surface occidentale du plateau appartient, en effet, au schiste supérieur; tandis que la partie orientale est occupée par le schiste inférieur. La ligne de contact, qui limite la rencontre de ces deux roches, se dirige sensiblement vers le Nord-Sud; au Nord, elle tend vers le plateau élevé que nous appelons *Ripari Plaka*, tandis que vers le Sud, elle descend dans la vallée de Berzeco. Au Nord, au point où cette ligne sort des concessions de la Compagnie Française, elle vient rencontrer un large affleurement du calcaire moyen.

Les deux schistes ainsi en contact ont des pendages inverses, le schiste supérieur plonge très brusquement vers l'Ouest, tandis que le schiste inférieur descend plus lentement vers l'Est; mais évidemment, il y a là une dénivellation des couches, puisque l'un et l'autre sont en contact à un même niveau, bien que d'âges très différents.

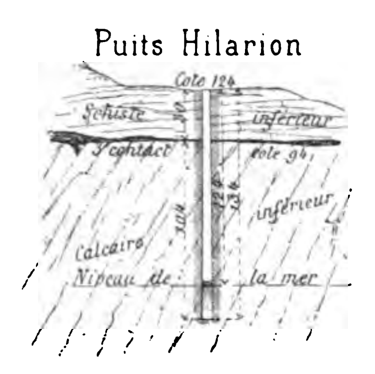
Le long de cette ligne, indice certain d'une fracture importante, on trouve des témoins irrécusables du phénomène qui s'est produit; ce sont des blocs plus ou moins volumineux du calcaire moyen qui, en s'affaissant probablement, a laissé là ces preuves matérielles de sa présence.

Ces fragments, gisant les uns à la suite des autres à la manière des blocs erratiques, jalonnent ainsi la ligne de fracture; ils se perdent au Nord sur l'affleurement du calcaire moyen, au Sud sous les dépôts d'alluvion qui forment le fond de la vallée de Berzeco.

Dans la vallée de Berzeco, la fracture se prononce d'une façon plus complète, les roches ne sont plus en contact, elles ont été rejetées à une certaine distance l'une de l'autre, et les phénomènes d'érosion ont rendu plus visible cette séparation. Ici, on peut constater, entre les lèvres séparées d'une même couche, que la dénivellation est d'environ 45 mètres; un peu plus au Sud, à Megalapef-ka, cette différence d'altitude est plus grande encore; mais, au Nord, vers le Ripari, après avoir franchi la surface du calcaire moyen, la dénivellation arrive à environ 80 mètres.

Puits Hilarion et Puits Jean-Baptiste. — Cette étude poursuivie au fond, à l'aide des travaux souterrains, permet de constater que ce déplacement de couches, visible à la surface, se peut tout aussi bien vérifier en bas. Le puits *Hilarion*, dont la profondeur

Puits Hilarion



totale est aujourd'hui de 134 mètres, ouvert dans le schiste inférieur à la cote 124 au-dessus du niveau de la mer, traverse d'abord 30 mètres de schiste inférieur, pénètre ensuite de 104 mètres dans le calcaire inférieur où il a rencontré l'eau à 122 mètres, soit 2 mètres au-dessus du niveau de la mer. Par une coupe EF passant par ce puits, on voit que le calcaire inférieur est, dans ce puits, à la cote 94 ; tandis que, à 1 kilom. 260 environ plus à l'Est, il se rencontre dans le puits *Espérance* à la cote 65. On constate également par cette coupe EF le brusque pendage des couches vers l'Ouest, en même temps que la différence de niveau déjà signalée plus haut. La ligne, de contact du schiste inférieur avec le calcaire inférieur, se trouve en effet portée à la cote 165 du côté Est, tandis qu'elle n'est qu'à la cote 125 du côté Ouest.

Dans le puits, le calcaire a été rencontré à 30 mètres de l'orifice, comme nous l'avons dit déjà ; et dans ce calcaire, à la cote 55, on a poussé une galerie horizontale Est-Ouest pour rechercher les calamines. A partir du puits à 200 mètres vers l'Ouest, cette galerie a rencontré le contact du calcaire inférieur avec le schiste inférieur ; vers l'Est, poussée sur une longueur double, elle est encore en plein calcaire inférieur. La poursuite de cette galerie vers l'Est présente un très grand intérêt en ce qu'elle viendra rencontrer le troisième contact

dont nous parlerons plus loin, et que là, il y a de sérieuses présomptions pour croire qu'elle y retrouvera le minerai de plomb entre schiste et calcaire.

Dans les travaux du puits *Jean-Baptiste*, situé à 3 kilomètres environ au Nord du puits *Hilarion*, et à l'Est de la ligne de fracture indiquée sur le sol, les travaux Ouest de ce puits ont permis de retrouver encore ce plissement que l'on suit en ce moment, pour trouver, si possible, le point où les couches reprendront leur position plus ou moins horizontale. La coupe CD laisse voir ce plissement.

Une galerie partant du puits *Jean-Baptiste* avance vers le Sud en suivant l'arête du plissement, elle facilite le service en même temps qu'elle permet une étude des plus intéressantes. Sa longueur actuelle est de 250 mètres.

Une coupe GH passant par le *Ripari*, centre probable du soulèvement, par le puits *Mercati* et le plateau de *Loutza*, laisse voir d'une manière très claire ce système de pendage avec son inflexion plus brusque à l'Ouest qu'à l'Est. Mais ici, les travaux anciens n'ayant pas pénétré jusqu'au contact du schiste inférieur avec le calcaire inférieur, il reste pour plus tard à aller constater, *de visu*, la position exacte de ces couches et l'importance des gisements à ce contact.

Roches ignées. — En divers points du *Laurium* on constate à la surface la présence de roches ignées, d'aspects variables suivant les positions où on les examine et en raison, sans doute aussi, des transformations que le temps et les phénomènes extérieurs leur ont fait subir. Presque toutes semblent appartenir à la classe des Eurites. Le granit n'y est connu à ce jour qu'en un seul point : au *Ripari*, qui semble, avec *Plaka*, être le centre du soulèvement. Actuellement, les relations de ces roches éruptives avec les gisements, sont loin de nous être connues; le temps et le développement des travaux pourront seuls fournir les documents nécessaires à l'étude de cette intéressante question. Cependant, il est un point qui, déjà, appelle sérieusement l'attention.

Dans les travaux du puits *Hilarion* et dans le calcaire inférieur, à 30 mètres environ au-dessous du contact de ce calcaire avec le schiste inférieur, le puits a traversé une fente remplie par une roche plus ou moins décomposée, tantôt réduite à l'état d'argile plastique, tantôt ayant encore l'aspect euritique bien déterminé; au-dessous de cette

roche, dont la puissance varie de 2 mètres à $0^m,10$, on a trouvé des limonites, puis la calamine.

En poursuivant cette calamine, par une galerie lancée à l'Ouest et à l'Est à partir du puits, galerie dont nous avons parlé déjà en signalant le plissement, on a constaté que le calcaire a été fendu obliquement, et que cette fente, de direction Est-Ouest avec pendage Nord-Sud s'enfonçant au Nord, est remplie par une roche ignée que nous supposons

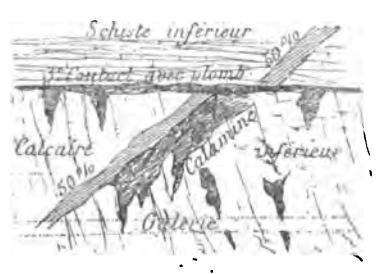
Roche ignée du Puits Hilarion



être euritique à un état de décomposition très variable. Arrivée au contact du calcaire inférieur avec le schiste inférieur, la roche disparaît dans l'étage schisteux, où elle a peut-être été déviée de sa direction par un rejet actuellement inconnu. Elle plonge au Nord avec une inclinaison de 25 p. 100 pendant 60 mètres environ, puis, cette inclinaison variant brusquement, le plongement paraît être alors de 50 p. 100. Nos travaux sont actuellement arrêtés à ce point.

Puits Serpieri. — Dans le puits *Serpieri* on a dernièrement





rencontré un épanchement de la même nature, mais ici la roche peut être suivie dans le toit schisteux, et on constate que, au contact des

deux roches, schiste inférieur avec calcaire inférieur, il y a un rejet de plusieurs mètres. Cette fissure a la même direction Est-Ouest, et le même plongement Nord-Sud que la précédente, seulement son inclinaison y est de 50 p. 100 ; c'est au-dessous d'elle, dans le calcaire, que sont les beaux amas calaminaires qu'on exploite dans ce puits.

Des contacts et de la position relative des minerais. — D'après ce que nous venons de dire, on voit que le terrain du *Laurium* peut être théoriquement représenté par une coupe qui laisserait voir trois contacts bien francs, tous trois minéralisés.

Nous éliminons le contact entre le calcaire supérieur et le schiste supérieur, à cause de son peu d'importance par suite de la disparition presque complète du calcaire supérieur, et nous avons adopté au *Laurium* la classification suivante :

Premier contact, compris entre le schiste supérieur au toit et le calcaire moyen au mur.

Deuxième contact, entre calcaire moyen au toit, le schiste inférieur au mur.

Troisième contact, entre le schiste inférieur et le calcaire inférieur.

Au-dessus de ce dernier existe, dans une zone du schiste supérieur, un certain dérangement que nous avons appelé : troisième contact subordonné, duquel nous aurons à parler plus loin.

Enfin, comme centre important de minéralisation, nous ajouterons les contacts spéciaux qui existent dans le calcaire inférieur, au-dessous des épanchements euritiques, gisements que l'usage désigne au *Laurium* sous le nom de *couches des roches filoniques*.

Le premier contact à toit schisteux est caractérisé par des dépôts de fer avec blende et galène, de galène, de plomb carbonaté ferrugineux et de calamine. Ces dépôts, pénétrant rarement dans le schiste, s'épanchent entre les deux roches encaissantes, mais en réalité ne sont puissants et bien développés que dans les fissures du calcaire. Les minerais de plomb à 10 ou 15 p. 100 de métal sont riches en argent, et ce n'est que très exceptionnellement qu'on en trouve dont la teneur soit au-dessous de 2 kilog. argent à la tonne de plomb. Les calamines y sont

de qualité moyenne généralement très calcareuses, leur teneur en zinc est en moyenne de 30 p. 100.

Les gisements y sont néanmoins abondants.

Le deuxième contact à toit calcaire est plus pauvre que le premier, les dépôts y sont d'une importance secondaire.

Le troisième contact, avec schiste au toit, est sans contredit le plus important. Les vides immenses, laissés par les anciens, attestent que eux aussi en avaient compris toute la valeur; et, en examinant les chambres énormes qui y ont été pratiquées, chambres de plus de 50 mètres de côté sur des hauteurs qui dépassent toujours plusieurs mètres, on peut se rendre compte des trésors qui ont été arrachés de ces gisements par les mineurs athéniens.

Ce troisième contact est caractérisé par des dépôts considérables de plomb carbonaté avec blende et veines de galène, au contact du schiste et du calcaire. C'est dans ces dépôts qu'étaient poursuivis les travaux des anciens. Les vides qu'ils ont faits sont soutenus de distance en distance, par de puissants massifs métallifères abandonnés là pour la sécurité des travaux. Le sol est couvert de leurs déblais tantôt stériles, mais souvent assez riches en plomb et en calamine pour pouvoir donner lieu, de la part des exploitants actuels, à une récolte d'autant plus fructueuse qu'il n'y a pas d'abatage à faire. La calamine, que rejetaient les anciens, y abonde et sert d'indices pour aller à la recherche des points où elle gît; en général, ces fragments calaminaires proviennent d'excroissances à la surface du mur calcaire, que les anciens abattaient pour niveler le sol et faciliter les transports, ou bien ils sont le résultat de l'exploitation des fentes ou griffons, qu'ils vidaient pour en extraire la partie centrale galèneuse. Enfin, parmi ces déblais, on trouve encore de nombreux débris provenant d'un puissant amas, enclavé dans le calcaire, d'un minerai complexe, blende, galène, pyrite de fer et de cuivre que les anciens, qui le connaissaient, ont négligé, soit parce qu'il offrait à l'abatage une résistance trop grande à cause de sa dureté, soit à cause des difficultés très grandes qu'il opposait et qu'il oppose encore à l'enrichissement mécanique.

Dans ce troisième contact, les minerais de plomb, sous toutes les formes où ils s'y rencontrent abondamment, sont riches en argent, leur teneur s'abaissant rarement au-dessous de 2 kilog. par tonne de plomb, et la calamine y abonde avec des teneurs d'une richesse de 50 à 55 p. 100 de métal.

Troisième contact subordonné. — Disons maintenant quelques mots de ce que nous avons appelé le troisième contact subordonné.

Dans les puits foncés sur le plateau de *Camaresa*, à quelques mètres au-dessus du troisième contact proprement dit, 3 mètres en moyenne, on trouve, dans le schiste, un dépôt irrégulier de bandes ou lentilles d'un calcaire schisteux, entremêlé de quelques plaquettes de quartz. Cette formation qui rompt la régularité des dépôts, demande encore à être expliquée. En attendant que sa raison d'être nous soit connue, elle appelle néanmoins l'attention du mineur parce qu'elle contient des veinules plus ou moins importantes de galène argentifère, enclavées dans les feuillets du schiste et du calcaire schisteux.

S'il fallait entreprendre des travaux spéciaux pour tirer parti de ces petites veines, certainement elles ne mériteraient pas qu'ils fussent entrepris, mais, l'exploitation principale ayant à supporter les frais généraux, ces veines n'ayant plus alors qu'à satisfaire aux frais propres à leur exploitation, elles peuvent être la source d'un bénéfice qui, quelque léger qu'il soit, n'est point à repousser.

Les anciens du reste y avaient ouvert des travaux dont le développement démontre qu'ils avaient profit à les suivre.

Cet accident qui paraît appartenir à la région de Camaresa, se montre dans les puits *Serpieri* et *Jean-Baptiste* à 30 mètres au-dessus du troisième contact, et va, s'infléchissant vers le Sud, de telle sorte qu'au puits *Hilarion* il n'est plus qu'à 9 mètres au-dessus de ce même contact; nous ne savons pas encore où il disparaît.

Si l'on résume ce qui vient d'être dit sur les contacts, on peut presque aujourd'hui formuler cette loi : que, au *Laurium*, les contacts les plus riches, comme contenance de minerai, sont les contacts à toit schisteux et à mur calcaire, c'est dans ces contacts qui, au *Laurium*, sont les contacts impairs, que les recherches doivent être poussées avec la certitude d'arriver à des découvertes utiles; que la teneur des minerais est à un titre d'autant plus élevé, en zinc, que le contact est plus inférieur.

Sans vouloir empiéter ici sur le domaine des hommes spéciaux qui se livrent à l'étude théorique de la formation des gîtes, on peut dire que la loi que nous venons de formuler s'explique facilement. En effet, le liquide minéralisateur surgissant du fond à son maximum de saturation, à haute température, sous une forte pression, a dû agir

avec plus d'action sur le calcaire inférieur du troisième contact auquel il enlevait une forte proportion de chaux, en abandonnant à la place le même équivalent de zinc. Lorsque le liquide, appauvri en métal, arrivait dans les calcaires supérieurs, il avait donc perdu de son action, et dès lors, les phénomènes de double décomposition agissaient avec moins d'énergie. Voilà pour la différence des teneurs.

Quant à la différence de quantité entre les contacts, il semble également rationnel de dire que le schiste, au toit, présentant un obstacle au passage des sources, qui pouvaient au contraire plus facilement filtrer dans les fentes naturelles du calcaire, en le corrodant au besoin, ce schiste a, par sa résistance, forcé le liquide à séjourner plus longtemps dans le contact, et que c'est pendant ce séjour forcé qu'il a pu ronger le calcaire et y déposer son métal.

Si dans le schiste on ne trouve aucun dépôt, c'est qu'en effet cette roche siliceuse ne contenant aucun élément attaquable, le passage du liquide, véhicule de la minéralisation, s'y est effectué à travers les feuillets du schiste, en échappant à tout tribut de transit. Arrivé hors du schiste, à son contact avec le calcaire, celui-ci a pu être également traversé avec une certaine vitesse dans sa partie inférieure; de là, la pauvreté des contacts à calcaire au toit et schiste au mur; mais, arrivé au haut du calcaire, une nouvelle couche de schiste, faisant à nouveau barrage, un nouveau dépôt métallique s'est effectué, égal en quantité à celui qui s'était produit plus bas dans des conditions analogues de résistance, mais avec des teneurs plus basses à cause de l'appauvrissement des sources comme nous l'avons dit plus haut.

Ceci dit, nous laissons à qui de droit le soin de combattre ou de développer cette opinion; la lumière qui se fera à ce sujet ne pouvant, en tout cas, que favoriser les recherches au point de vue pratique qui est le nôtre.

Gisements subordonnés aux épanchements ignés. Revenons maintenant à la fracture qui a été produite dans le calcaire inférieur pour livrer passage à la roche euritique dans les puits *Hilarion* et *Serpieri*.

La direction de cet épanchement, avons-nous dit, est Est-Ouest et son pendage Nord. Au-dessous de cette roche se trouvent des gisements calaminaires importants et de tous points identiques à ceux des véritables contacts, avec cette différence cependant que, là, le

plomb fait absolument défaut, tandis que le cuivre s'y rencontre, bien qu'en proportion infiniment petite.

Cette roche, décomposée ou non, alors que les dépôts métalliques se sont formés au-dessous d'elle, a donc joué un rôle identique à celui que le schiste, toit, a joué lui-même dans les contacts impairs; elle a été un obstacle au passage des liquides, et a contribué ainsi à la formation de griffons calaminaires avec grande quantité de fer. Au-dessus de la roche euritique, dans le calcaire, on constate à peine la présence de quelques petits rameaux calaminaires, sans puissance, qui se perdent rapidement si l'on cherche à les poursuivre.

Ici, les griffons au lieu d'être régulièrement disséminés sur toute la surface, parallèlement les uns à côté des autres, à des distances plus ou moins variables et communiquant entre eux, semblent s'être réunis par places, de manière à former une accumulation qui donne à l'ensemble, à première vue, l'aspect d'une couche. Aussi, au début des travaux, alors qu'ils n'avaient pas pris un développement suffisant pour permettre de bien apprécier l'ensemble, ce gisement fut par nous tous désigné, improprement, sous le nom de *couche Hilarion*.

Le premier faisceau de griffons qui fut rencontré et exploité, présentait l'aspect d'une grosse lentille dont il a été extrait plus de 12,000 tonnes de calamine remarquablement riche. Cette lentille épuisée, les griffons sont devenus plus épars. Cependant, comme les contacts supérieurs contiennent des gisements d'une très grande importance, il était permis d'affirmer que d'autres faisceaux s'y rencontreraient encore; c'est, en effet, ce que la poursuite des recherches est venue prouver.

Notons encore que les produits calaminaires de ce contact spécial ont un *facies* propre qui permet à l'œil le moins exercé d'en reconnaître l'origine, et qu'enfin la calamine qui en provient contient, sur quelques points, de demi à un et demi de cuivre. Il semble donc que cette formation doit être d'un âge autre que celui des contacts normaux, et l'absence de sulfures tend à faire croire qu'elle est plus récente.

En partant du puits *Hilarion*, où la trace de cette roche forme dans le calcaire une sorte de couche à pendage discordant, si l'on remonte dans cette couche en se dirigeant vers le Sud, on parvient au troisième contact qui, là comme partout ailleurs, est découpé par les travaux anciens. Nous y perdons, pour le moment, la trace de notre roche et ne

pouvons, par conséquent, la suivre dans les strates supérieures; mais des indices de surface nous font espérer que nous devons l'y retrouver, un rejet peut l'avoir déplacée de quelques mètres sans que nous l'ayons encore constaté.

Dans son plongement Nord, nos descenderies la suivent; mais bientôt, alors que nous arriverons à la cote zéro, il ne nous sera plus permis d'aller plus bas, l'eau ayant été rencontrée à 2 mètres au-dessus de cette cote dans ceux de nos puits qui y sont parvenus; mais, comme son plongement l'amène forcément sous nos puits du massif de *Camaresa*, le fonçage de certains de ces puits aurait donc le double but :

1° De recouper les couches euritiques des puits *Hilarion* et *Serpieri*, au-dessous desquelles nous avons la presque certitude de rencontrer les gisements calaminaires, semblables à ceux que nous exploitons déjà au-dessous d'elles;

2° De franchir le calcaire inférieur pour savoir s'il ne fera pas reconnaître un nouveau contact avec le schiste, ou si définitivement il repose sur le terrain mort.

En tout cas, les sources métalliques étant venues de plus bas que le calcaire, dit actuellement inférieur, il y a pour l'avenir un intérêt capital à poursuivre ces reconnaissances par l'approfondissement de quelques puits.

Nous avons vu qu'il existe un *fort plissement* de tous les dépôts; que, à la surface, ce plissement a donné lieu à une fracture qui pénètre jusqu'au calcaire inférieur sans cependant l'entamer. Etudié au point de vue du gisement des minerais, on voit que ce plissement a joué un rôle assez important. Du côté Est de sa ligne de faîte, les minerais de plomb et de zinc abondent; du côté Ouest, dans le pendage rapide, les anciens ont poussé quelques recherches qu'ils ont probablement abandonnées par suite, peut-être, de l'absence de minerai de plomb, ou à cause de la profondeur qui rendait leurs travaux trop coûteux.

Les travaux déjà assez profonds que nous y avons entrepris en cheminant, suivant la pente entre toit et mur, nous font voir qu'il y a là une interruption de minéralisation. Le minerai de plomb a presque disparu et y est remplacé par de petits amas assez disséminés de cuivre oxydulé avec cuivre natif, où l'on trouve des cristaux d'une remarquable beauté.

Si, au point de vue de l'étude générale du terrain, nous avons un intérêt bien réel à poursuivre nos travaux dans le plissement, jusqu'à ce que nous arrivions au point où les couches reprendront leur allure normale; au point de vue industriel, nous y avons aussi intérêt au moins égal; car, à l'Ouest de la ligne de fracture, nous connaissons des travaux immenses exécutés, par les anciens, dans les contacts supérieurs. Les déblais du jour, ceux du fond, tout nous indique qu'il y a eu là des extractions considérables dans le premier et le deuxième contacts; nous avons, dès lors, le droit d'en conclure : qu'en suivant la loi constatée plus haut, le troisième contact doit exister là, comme ailleurs; et qu'il doit y être riche en plomb, et riche aussi en zinc.

Mais une grave objection se présente ici : ce contact sera-t-il noyé? Son rapide plongement, s'il se poursuit sur une certaine longueur, doit sans aucun doute atteindre la cote zéro, c'est-à-dire le niveau de la mer, et l'eau par conséquent; mais il y a de grandes chances pour que, entre ce niveau et le point où nous sommes aujourd'hui, il reste encore une zone très importante libre de liquide et, par suite, facile à exploiter.

Ajoutons enfin que les indices de cuivre oxydulé dans le plissement, indices que l'on rencontre également, mais disséminés, il est vrai, dans le *troisième contact*, voire même dans le *troisième contact subordonné*, à l'état de pyrite, d'azurite et de malachite, viennent militer en faveur de ces recherches qui, quoi qu'il arrive, conduiront à quelque chose d'utile et d'intéressant pour l'entreprise.

Gisements. — Les gisements plombeux et calaminaires, des premier et deuxième contacts, se rencontrent souvent côte à côte enclavés dans le calcaire; mais, dans le troisième contact impair, ces gisements sont bien autrement développés et rapprochés.

Au plateau Berzeco, dans le premier contact, les amas sont accumulés les uns sur les autres, et contiennent des minerais très divers. A côté de la calamine et du plomb, on a trouvé le cuivre, voire même le cuivre natif qui y a été rencontré, en 1876, dans un amas de calamine très cuivreuse, près duquel nous avons exploité un autre amas de calamine nickélifère.

Au plateau de Loutza, on exploite de riches amas de zinc sous

forme de griffons enclavés dans le calcaire moyen. Cette calamine y est à une teneur exceptionnellement riche, eu égard à son gisement.

L'examen des gisements des contacts supérieurs fait voir qu'ils sont riches en fer; mais que la pyrite n'y intervient que très accidentellement.

Dans le troisième contact, les relations de position sont beaucoup plus claires que dans les contacts supérieurs, et il est permis aujourd'hui d'y marcher en avant avec la complète certitude du but à atteindre.

Les minerais de plomb, dans tous les contacts supérieurs, occupent immédiatement entre les deux roches, schiste et calcaire, une position bien nettement accusée. Ce sont les minerais oxygénés de plomb et de fer, avec mélange assez intime de blende, le tout traversé par des veines de galène, qui dominent; puis, pénétrant dans le calcaire, on trouve cet amas complexe, que nous avons signalé déjà, d'un minerai composé de la réunion intime de galène, blende, pyrite de fer et de cuivre, avec prépondérance tantôt de l'un, tantôt de l'autre, des éléments composants. Connu actuellement sur une longueur qui s'étend du groupe des puits *Serpieri* au puits *Jean-Baptiste*, il n'a encore été suivi en profondeur que jusqu'à 25 mètres; ce travail, en reconnaissance, se poursuit sans discontinuer. Voilà pour le plomb.

Passant aux gîtes de zinc, on voit que leur présence est le plus souvent révélée, sur le calcaire, par des excroissances rognonnées, formant de larges chapeaux ou champignons, qui s'étendent sur le mur du contact; ces sortes d'affleurements souterrains ont tous une direction sensiblement parallèle qui est Nord-Est et Sud-Ouest environ.

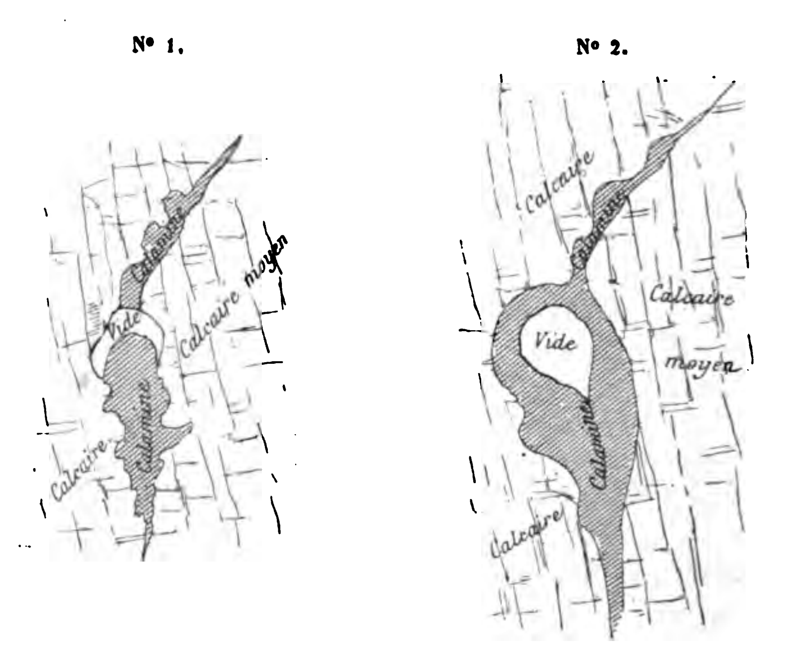
Ces affleurements sont l'indice de fentes ou griffons qui s'enfoncent dans le calcaire en forme de coins, jusqu'à 30 mètres et quelquefois plus. Leur longueur, leur puissance, leur écartement des uns aux autres, tout est variable et indéterminé; ils sont plus ou moins ramifiés, et ces ramifications sont, pour le mineur, on ne peut plus utiles, puisqu'elles peuvent servir d'amorces productives pour des galeries de traverse, allant d'un griffon à l'autre, et être utilisées ensuite pour les transports.

Constitution des griffons. — Si l'on étudie la conforma-

tion des griffons, on voit que suivant leur position, d'un contact à l'autre, il y a de légères variations dans leur constitution intime. Ceux des contacts supérieurs ne contiennent généralement que de la calamine.

Ces coins très minces par le bas, entièrement enclavés dans le calcaire moyen, se terminent en hauteur par des cloches ou voûtes absolument fermées, dont les croquis ci-dessous peuvent donner une idée.

N° 1. N° 2.



Un vide existe quelquefois entre le dépôt calaminaire et le calcaire qui l'enveloppe. Parfois, la surface de cette voûte fortement striée est la preuve de l'action corrosive du liquide; d'autres fois, au contraire, cette surface est absolument lisse. On remarque aussi une petite fissure montante qui part du haut de la cloche; de distance en distance, au toit de ces fissures, on trouve de petites poches remplies de calamine, indice certain du jet montant des sources minéralisatrices. Croquis n° 1.

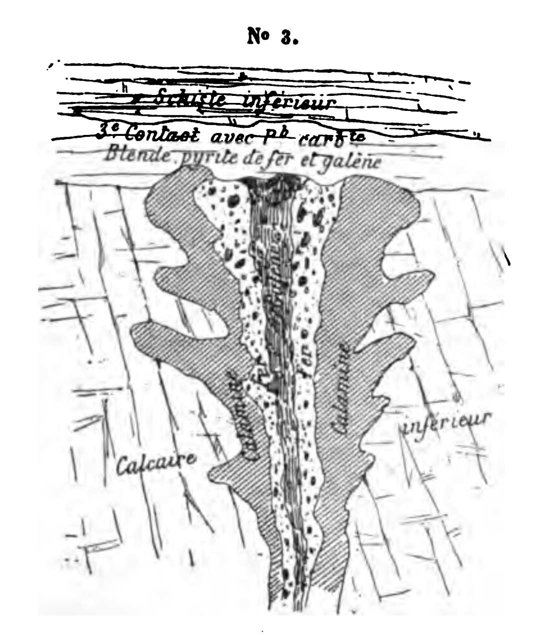
Un deuxième type, croquis n° 2, fait voir que la calamine a tapissé la voûte calcaire de telle sorte que la partie supérieure du griffon se termine par une sorte de tube à parois calaminaires.

Les dépôts ou griffons du troisième contact ont une constitution moins simple et sont aussi plus importants comme dimensions que

ceux des contacts supérieurs. Enfin les minerais qu'on en extrait ont un cachet à eux et une apparence de compacité spéciale qui les différencient facilement.

Ces griffons, croquis n° 3, dont les affleurements s'épanchent sur le calcaire inférieur, en un long chapeau calaminaire, rognonné, concrétionné, quelques-uns, ont une composition assez complexe, ils sont constitués comme suit : au centre, une âme de galène enveloppée d'un manteau ferrugineux; ce dernier, à son tour, recouvert par la calamine.

N° 3.



Les griffons qui s'exploitent au-dessous de l'injection euritique, bien que présentant un aspect général analogue à ceux décrits ci-dessus, en diffèrent néanmoins comme détail; on remarque que jusqu'à ce jour ces griffons ont tous été dépourvus de plomb, mais le fer y abonde en telle quantité que dans quelques-uns le remplissage n'est plus la calamine, mais un oxyde de fer imprégné de zinc, ils sont alors inexploitables.

Dans ces derniers temps, il a été rencontré dans le puits *Jean-Baptiste* des griffons calaminaires très importants qui, à la surface du calcaire, ne laissaient voir qu'un épanchement très minime; puis, au-dessous de cet épanchement, un simple filet s'enfonçant dans le cal-

caire; mais à quelques mètres plus bas, on voit tout à coup ce filet s'élargir et communiquer brusquement avec un vaste amas de minera de zinc dont la puissance devient 3, 4 mètres et quelquefois plus.

Ce type est indiqué au croquis n° 4.

N° 4.



On trouve dans quelques-uns de ces gîtes l'aloisite comme gangue spéciale, et, fait remarquable à noter, dans les calamines de certaines poches ou griffons du puits *Serpieri*, on trouve le cuivre natif empâté dans une proportion notable.

Quel a été l'ordre de succession dans la production des minerais du Laurium ?

Dans les gîtes de contact, directement enclavés entre les dépôts de schistes et de calcaire et plus particulièrement dans les gisements du troisième contact, on trouve le plomb et le fer à l'état oxydé avec la blende et des mouches de galène. Mais, dans le troisième contact, entre les puits *Serpieri* et *Saint-Jean-Baptiste*, existe un puissant amas, d'un mélange intime de galène, blende et pyrite, à l'état parfaitement sain qui doit être la représentation réelle du minerai, tel qu'il a été déposé au moment de la formation du gîte. Il semble que

les parties oxydées du gisement ne sont que le résultat d'actions postérieures, de longue durée, qui ont fait subir aux minerais primordiaux de profondes altérations en décomposant les sulfures. Or, au milieu de ces minerais décomposés, et vers le toit schisteux, on trouve souvent des cristaux de galène recouverts de gypse; quelquefois la galène a complètement disparu, le gypse a pris sa place; ce gypse, à son tour, est enveloppé de fer oxydé formant, autour du noyau sulfuré, un tube recouvert lui-même par de la calamine.

Dans les griffons du type n° 3, nous voyons se reproduire la même succession : l'âme galène est enclavée dans le fer, le fer dans la calamine.

De ces observations, on peut donc conclure que les dépôts métallisés se sont succédé dans l'ordre suivant : en premier lieu, le sulfure de plomb; après lui, le sulfure de fer et enfin le zinc. Ce dernier, à l'état de calamine, dans les griffons.

L'état actuel serait dû à la décomposition du sulfure de fer, décomposition qui aurait donné naissance à la formation du gypse soit autour, soit au lieu et place de la galène.

Si, de l'âge des minerais on passe à l'âge des gisements eux-mêmes, il semble : que les premiers nés doivent être les gîtes de contact, pris entre schiste et calcaire, entièrement formés de sulfures; que, à ces gisements, ont succédé les griffons ou gîtes en stocwerks, du type n° 3, avec galène, fer et calamine; puis, enfin, ceux du type n° 4 avec calamine seulement.

On peut ajouter encore que les derniers venus des griffons, dont la tête se bute sur les filons euritiques, sont postérieurs à cette roche; et, pour le moment, on ne doit pas aller au delà. Plus tard, alors que de nouvelles observations auront été faites et groupées, on pourra certainement prétendre à de plus complètes explications des phénomènes signalés aujourd'hui.

Par ce qui vient d'être dit, on voit que le district métallifère du Laurium peut être, jusqu'à présent au moins, considéré comme absolument *dépourvu de filons*. Les gîtes qui y sont constatés si nombreux, si puissants, appartiennent tous à la catégorie des gîtes de contact ou des gîtes en stocwerks analogues à tous les gisements calaminaires connus à ce jour, et leur formation semble rentrer, d'une manière complète, dans la théorie exposée, par M. Delanoue, dans son intéressant mémoire de 1850. (*Annales des Mines*, 4me série, tome VIII.)

Après ce rapide examen des gisements métallifères du Laurium, l'exploitant, tout en constatant les quantités énormes de minerai qu'il a actuellement à sa disposition, est naturellement conduit à se demander si un état de choses, aussi florissant, se continuera pendant une longue période d'années, afin de satisfaire tant à ses propres intérêts que pour assurer la sécurité de ses acheteurs.

Les concessions, dont dispose actuellement la Compagnie Française des Mines du Laurium, occupent une superficie de plus de 3,000 hectares; or, au centre même de cette immense surface, sur le plateau Camaresa, où se trouve en ce moment concentrée plus particulièrement toute l'activité de l'exploitation, l'extraction est assurée, pour plusieurs années, d'une production mensuelle d'environ 4,000 tonnes de calamine; et, en minerai de plomb, de quoi entretenir fours et laveries en pleine activité. Chaque jour des découvertes nouvelles, ajoutant à ces approvisionnements, assurent ainsi les réserves de l'avenir.

De ce point central, si on se transporte à l'extrémité Nord de la concession, vers le groupe des puits dits de la *vallée Mercati*, on peut, en suivant cette vallée, la remonter jusqu'à sa rencontre avec le plateau de Camaresa. Les puits, dont on constatera la présence sur ce parcours sont nombreux et criblent le sol; or, à l'orifice de chacun d'eux, on peut constater sur les haldes la présence de fragments très abondants de calamine de première qualité, indices certains de la présence, au fond, de gisements importants. En effet, plusieurs de ces puits ayant été débouchés et déblayés, on a pu reconnaître dans le calcaire inférieur du troisième contact d'aussi beaux griffons calaminaires que ceux exploités au-dessous du plateau de Camaresa.

Un certain nombre de ces gisements sont déjà en pleine production, et chaque jour cette production augmente; ainsi donc, il y a certitude que de Mercati, extrémité Nord, jusqu'à Camaresa, point central, existe une immense surface calaminaire.

Partant maintenant du même plateau de Camaresa, et se dirigeant vers le Sud en passant par la vallée de Berzeko, si l'on interroge le sol parcouru, on y constatera également des indices identiques à ceux signalés dans la vallée Mercati. Des puits ayant été également vidés à l'extrémité de cette ligne, là encore les travaux anciens ont mis en évidence la présence abondante de la calamine dans les griffons du troisième contact, et en quantité aussi grande. Si on revient de nouveau au plateau de Camaresa pour redescendre ensuite en se dirigeant à l'Est

vers la mer, on trouve encore, à chaque pas, des indices superficiels d'une importance très grande aux affleurements des contacts supérieurs, qui tendraient à faire croire que, dans cette direction, le troisième contact lui-même doit être également très minéralisé. Cependant, une tentative de recherche a été faite au puits *Espérance*, lequel a recoupé le troisième contact dans une partie stérile. Aucune autre recherche n'a été poursuivie. Cette tentative infructueuse ne prouve rien, selon nous, parce qu'un puits peut déboucher juste entre deux gisements. Il n'en faut donc pas conclure que le terrain y est stérile; il faudrait, du fond de ce puits, pousser des galeries en recherche, et notre conviction, jusqu'à preuve du contraire, est que ces recherches conduiraient à un résultat positif.

Certainement il nous faut bien admettre qu'au *Laurium*, comme partout ailleurs, il y a des zones stériles, mais les gisements supérieurs au troisième contact étant riches et nombreux, aux alentours du puits *Espérance*, nous sommes en droit d'en conclure que ce troisième contact lui-même, doit être minéralisé aussi, tant par le plomb que par la calamine.

Nous venons de parler de la calamine; pour le plomb, nous devons ajouter que partout il apparaît ainsi que le zinc, et, qu'en conséquence, on est en droit de conclure que, pour une bien longue période d'années, ni l'un ni l'autre de ces minerais ne pouvant faire défaut, la production des Mines du *Laurium* n'aura d'autre limite que celle qu'il conviendra aux exploitants de fixer eux-mêmes pour le mieux de leurs intérêts.

Les travaux de recherche ou de préparation sont du reste rendus singulièrement rapides et économiques par suite des vides laissés par les anciens. Depuis moins de deux ans qu'il nous a été permis de travailler librement, l'imagination ne peut se faire une idée véritable de l'immensité de ces travaux dont, cependant, nous ne connaissons encore qu'une fraction; mais, avec l'activité qui se développe actuellement, le jour s'approche où il sera permis de parcourir souterrainement du Nord au Sud, de l'Est à l'Ouest, toute la concession du *Laurium*.

Les Mines du *Laurium* sont absolument dépourvues d'eau et leurs gisements les plus profonds, ceux du troisième contact, sont situés à au moins 60 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ce ne serait donc qu'au cas où on irait chercher un quatrième contact, si toutefois il existe au-dessous du calcaire inférieur, qu'il y aurait alors presque

certitude de le trouver noyé ; mais, les masses presque inépuisables de minerai que l'on a sous les yeux, celles que les recherches découvrent chaque jour, les indices certains que l'on possède, assurent à l'exploitation une longue période d'années ; la crainte de l'eau ne doit pas être la préoccupation de la génération actuelle.

Cette disette d'eau, qui oblige à foncer quelques puits pour assurer le service des moteurs, paraît du reste avoir existé de tout temps, et fortement préoccupé nos devanciers de l'époque ancienne.

Si l'on étend cette étude en dehors du périmètre des concessions de la *Société Française des Mines du Laurium*, tant à l'Ouest qu'au Nord, pour embrasser tout le massif, on constatera que le versant occidental de ce massif aussi bien que sa partie Nord-Ouest, depuis le *Ripari* jusqu'à la profonde faille dite *Ravin de Plaka*, reste identiquement composé des mêmes couches prolongées, et que le terrain ne varie pas ; qu'il est, de plus, riche en minerais de zinc et en minerais de plomb, dans des conditions de gisement absolument semblables à celles que nous avons décrites plus haut.

Comme les concessions actuellement exploitées par la *Société Française des Mines du Laurium*, cette partie du *Laurium* à été fouillée par les anciens. Des amas considérables de scories, de déblais de mines et de résidus de lavage accumulés à Barbaliaki, à Dimoliaki, à Loulou-couki, etc., etc., sont là pour l'attester ; et nos visites dans les anciens travaux, là où il nous a été permis de pénétrer, nous en ont fourni une nouvelle affirmation.

Le ravin, ou plutôt la profonde faille de Plaka, descend rapidement à l'Est pour venir mourir, en s'étendant sur le rivage de la mer, en donnant naissance à la belle plaine de Teriko. Si, franchissant cette faille, on marche vers le Nord, en traversant la plaine de Teriko pour remonter la vallée dite du Moulin, qui conduit à Keratea, on observait le sol à droite et à gauche de cette vallée, on ne rencontrerait plus, de ce côté, que de rares vestiges de travaux anciens ; ce sont des amorces sans suite, des tentatives de recherches abandonnées presque aussitôt qu'entreprises.

Dans cette partie du *Laurium*, le zinc semble, jusqu'à ce jour au moins, avoir complètement disparu, et les minerais de plomb n'y jouent plus qu'un rôle très secondaire ; ceux qu'on y connaît sont disséminés en petite veines jetées au hasard dans le schiste, comme on le peut voir à Bromopouzi, et ne sont pas capables de donner matière

à une exploitation importante. Par contre, les minerais de fer manganésés, dans cette partie du *Laurium*, se rencontrent à profusion, surtout entre la vallée du Moulin et la mer, en amas qui s'élèvent au-dessus du sol, dans des conditions de gisement on ne peut plus favorables pour donner lieu à des extractions faciles et de grande importance; et cela, à quelques centaines de mètres de la mer, offrant par conséquent à l'exploitation l'économie de l'abatage en même temps que celle du transport à l'embarquement.

Nous avons dit plus haut que le sol du *Laurium* est criblé de puits, que nous les y comptons par centaines déjà, et que nous sommes loin encore de les connaître tous; on en peut dire tout autant des citernes que l'on rencontre à chaque pas, soit autour des puits, soit autour des anciens ateliers de lavage des minerais.

Quelques-unes de ces citernes sont en état de ruine, mais le plus grand nombre est, au contraire, si admirablement bien conservé que certaines d'entre elles servent encore sans qu'il ait été besoin d'y faire aucune réparation; pour d'autres il a suffi de refaire quelques joints et une partie des enduits pour les remettre en usage.

Ces citernes sont de deux espèces, les petites et les grandes; chaque espèce ayant eu, certainement, des destinations différentes.

Les petites citernes que l'on trouve quelquefois isolées, mais le plus souvent par groupes, sont généralement enfoncées dans le sol de manière à ce que leur ouverture se trouve abritée; quelques-unes sont placées dans des sortes de caves ou grottes, faites de main d'homme, pour maintenir l'eau à un état convenable de fraîcheur; le sol a été ménagé pour servir de voûte à ces cavités. Elles ont la forme de jarres identiques à celles que nous connaissons en provenance de Pompéïa et autres lieux, et telles qu'on les fait encore dans le midi de la France, en Italie, en Espagne, etc. Les plus volumineuses ont plus de 3 mètres de hauteur avec un diamètre au ventre de à peu près autant; en général le sol de la cave, où elles gisent, a été suffisamment entaillé pour que ces jarres, construites sur place en ciment, aient pu y prendre place; quelques-unes, de moindre capacité, sont en terre cuite. Toutes ces petites citernes sont réunies soit autour des puits d'extraction, des grands chantiers à ciel ouvert, ou des grandes citernes qui avoisinent les ateliers de lavage. Pour nous, incontestablement, elles avaient

pour but de fournir aux travailleurs les eaux potables nécessaires à leur alimentation.

Les grandes citernes, dont quelques-unes sont utilisées par les exploitants actuels, ont une capacité qui est, pour certaines, de 2,000 mètres cubes et au delà. Enclavées dans le sol, leur profondeur totale est de 3 mètres à $3^{m},50$, les parois sont construites en calcaire inférieur (marbre blanc panthélique), les joints en mortier hydraulique, toute la surface revêtue ensuite d'un enduit mince du même mortier, fait au sable fin, que l'on recueillait, comme nous le faisons nous-mêmes aujourd'hui, au bord de la mer. La forme de ces réservoirs est généralement un rectangle dont les angles sont adoucis, on voit que, en général, cette forme dépendait beaucoup de la plus ou moins grande facilité que le sol présentait à l'entaillement. On trouve généralement deux ou trois citernes placées les unes à la suite des autres et se desservant par déversoir.

En tête se trouve un petit puisard, assez profond, dans lequel arrivaient d'abord les eaux plus ou moins troubles et plus ou moins chargées des détritus solides qu'elles entraînaient avec elles, dans ce puisard; ces détritus se déposaient et pouvaient être enlevés à mesure qu'ils s'y accumulaient, de sorte que l'eau, à demi épurée, sortait alors en déversoir de ce puisard pour se rendre dans les citernes.

Les pluies étant rares, dans le climat du *Laurium*, et l'évaporation y étant excessivement active, on voit que les anciens, pour ménager ce liquide si précieux, avaient pris toutes les précautions nécessaires. En effet, autour des citernes et dans les murs qui en forment les parois, on voit des dés régulièrement espacés; au centre, une protubérance en maçonnerie indique que là était scellé un poteau central, que d'autres poteaux reposaient sur les dés, et que tous ces poteaux servaient à soutenir une charpente qui, couverte en tuiles probablement, s'opposait à la radiation solaire. Enfin, on retrouve encore sur le sol, rayonnant autour des citernes, tout un réseau de petits canaux creusés dans la roche, lesquels avaient pour but de capter les eaux pour les amener au puisard de tête.

ETUDE DES MINERAIS

Minerais de Zinc. — On a dit et écrit que la découverte du minerai de zinc, au *Laurium*, était due à la rencontre fortuite d'un petit cristal d'adamine trouvé pendant le fonçage du puits *Hilarion;* et que, dès lors, ce minerai a été naturellement constaté sur tout le littoral du *Laurium.*

Or, le minerai de zinc à l'état de blende couvre, on peut dire presque entièrement, tout le sol du *Laurium;* puisque les déblais, si considérables, accumulés au jour par les anciens mineurs, se composent d'amas de fragments de calcaire, de schiste et de blende; et que sur toute la surface des concessions, criblée de tant de puits, les larges haldes qui entourent les orifices de ces puits, fournissent une ample récolte de calamine d'une richesse exceptionnelle. Enfin à chaque pas, l'explorateur foule aux pieds les immenses et nombreux affleurements calaminaires qui se sont, en de certains points, épanchés sur le sol avec une telle profusion qu'on peut dire qu'il en a été blindé. Ces épanchements de surface sont principalement remarquables au plateau et dans la vallée de Berzeko, au plateau et sur les flancs du Ripari, sur les flancs du ravin de Plaka, etc., etc. Pour ces raisons, dire et écrire qu'un microscopique cristal d'adamine a été le précurseur de la découverte du zinc au *Laurium*, nous semble une bien grande puérilité. La vérité est que les premiers explorateurs, qui sans doute ne connaissaient pas la calamine, l'ont mille fois foulée aux pieds et maniée sans la deviner; il a fallu, pour la signaler, l'œil exercé de M. Hilarion Roux.

C'est quelque temps après cette découverte que nous avons été appelés à visiter ce riche district minier, au commencement de 1874, alors que le fonçage du puits *Hilarion* (appelé aussi quelquefois puits *Berzeko*) venait de traverser, dans le calcaire inférieur, la roche ignée dont nous avons eu occasion de parler plus haut, et au-dessous de laquelle a été trouvé un gîte de zinc.

Après l'examen des lieux, notre premier soin a été d'imprimer aux travaux une direction méthodique et régulière, en indiquant des tra-

çages dont le résultat devait être, et a été en effet, de conduire peu à peu à la connaissance des lois qui régissent ces gisements.

Pendant l'année 1874, nous faisions en même temps armer les puits *Serpieri* et *Jean-Baptiste* de tout le matériel d'extraction dont ils sont dotés aujourd'hui ; machines de quinze à dix-huit chevaux, construites dans les ateliers de la Société centrale de constructions mécaniques, guidonages, cages avec parachutes, wagonnets, etc. Quant au puits *Hilarion*, il reçut une machine qui existait déjà, machine sans changement de marche; le service se faisant par une descente au frein, la benne non guidée.

La quantité de la calamine en vue commençait déjà à promettre pour l'extraction un chiffre suffisamment convenable pour autoriser la construction des fours de calcination; aussi l'établissement de deux de ces fours, sur douze que comprenait notre projet, fut-il décidé et mis en œuvre.

On en était là, fin de 1875, lorsque fut constituée la Société Française des *Mines du Laurium*. Depuis cette époque, les travaux ont marché avec une rare et énergique rapidité, de nombreux gisements ont été interrogés; et l'on peut constater, par les résultats obtenus, que la calamine au *Laurium*, se présente en masses énormes, sous les aspects les plus variés et les plus imprévus.

Calamine de surface. — Les minerais dits de surface, parce que leurs affleurements sont visibles en un grand nombre de points, sont généralement d'une teneur relativement peu élevée en zinc. Tantôt ils affectent l'aspect d'un calcaire blanc, crayeux, plus ou moins compacte sous forme de blocs assez puissants ou de larges plaquettes superposées (vallée Noria, plateau et vallée Berzeko); d'autres fois la calamine ressemble à une limonite, plus ou moins caverneuse et cariée, ou bien elle est d'un facies tel, qu'on croit avoir sous les yeux une roche stérile, schisteuse, grisâtre, compacte, dans laquelle la présence du métal n'est trahie que par la densité.

A Plaka, l'apparence est différente, la calamine, d'un blanc jaunâtre, couvre le sol de dépôts qui jettent dans le calcaire des racines plus ou moins profondes; à la surface, les affleurements font croire qu'on a sous les yeux un champ où croîtraient des éponges aplaties. En soulevant ces morceaux, on éprouve une singulière surprise en raison du peu de poids comparé au volume soulevé.

Ces divers types de minerais de surface opposent au triage des difficultés très grandes, même pour l'homme le plus pratique ; les aspects sont si variés, qu'il faut un certain temps pour les reconnaître ; les teneurs sont également tellement variables, qu'il n'est ni œil, ni main, qui puisse, sans une longue pratique, arriver à les classer. Sous une même apparence, il y a pourtant des distinctions à faire ; ainsi, dans l'une c'est le fer qui domine, dans l'autre ce sera la chaux, de telle sorte que c'est l'essai chimique seul qui peut en avoir raison. On peut juger, par ces quelques mots, quel travail laborieux devaient accomplir ceux qui ont eu pour mission de former le premier personnel du triage.

Des gîtes de la surface, si nous passons aux gîtes du troisième contact, là encore nous trouvons les types les plus variés ; mais, les difficultés du classement disparaissent, parce que les teneurs des calamines y sont si constantes, dans leur richesse, que l'on peut affirmer à l'avance que tout y est bon. Au contact du schiste inférieur, dans les crevasses du calcaire inférieur, la calamine qui remplit les griffons est presque toujours très compacte, le facies et la densité sont tels, à première vue, que le métal y est immédiatement soupçonné. La pureté exceptionnelle de ces minerais remarquables, leur combinaison chimique si régulière, font que toutes les opérations par lesquelles ils doivent passer, sont rendues infiniment faciles. La nature s'est faite, ici, le meilleur auxiliaire de l'exploitant en supprimant toutes les difficultés, et en livrant, avec une rare prodigalité, des matières d'une telle pureté que nul gîte au monde ne peut à ce jour être comparé aux gîtes du *Laurium*.

Les calamines extraites de ces gisements de fond donnent lieu aux variétés suivantes : calamines compactes en roche comparables tantôt à du calcaire jaunâtre, tantôt à de la meulière ; d'autres affectent, à s'y méprendre, les aspects si divers du quartz. Compactes, opaques ou translucides, colorés et veinés de bleu, de vert, de rouge, certains types sont à confondre avec les jaspes, les calcédoines ou les agates. D'autres, à la cassure nacrée et brillante sont d'un blanc grisâtre, ou vert pré, tandis que certains morceaux absolument jaunes, pourraient être pris pour de monstreux échantillons de gomme gutte. Les gîtes du plateau de Camaresa sont ceux qui fournissent, pour la plus grande partie, ces types, non pas à l'état d'échantillons isolés, mais bien en masses exploitables.

Dans la localité dite de la vallée Mercati, à côté des variétés ci-dessus, on trouve également une calamine compacte, blanche, dont l'aspect feuilleté pourrait faire croire que l'on a sous les yeux les débris d'un énorme registre pétrifié que l'on aurait brisé par morceaux. Ce degré de compacité varie considérablement, et l'on arrive, à l'extrémité opposée de ce genre, à avoir des échantillons assez tendres et friables dont on peut enlever des feuillets ou de fines plaquettes. Une apparence assez originale est celle en fragments durs, jaunes ou rougeâtres, en plaques plus ou moins contournées, sonores, ressemblant à des fragments de poteries. Cette apparence est tellement trompeuse que, les premiers morceaux qui ont été rencontrés nous ont fait croire que nous nous trouvions, en effet, en face d'un amas de fragments de poteries anciennes. Enfin, nous terminerons cette description des variétés, déjà si longue et pourtant bien incomplète encore, en signalant une variété ligneuse. Cette calamine jaunâtre présente une texture fibreuse telle, qu'on peut se croire en présence de morceaux de bois et de vieilles souches, en état plus ou moins avancé de décomposition.

Si maintenant nous descendons plus bas dans le calcaire inférieur, à 30 mètres au-dessous du contact de ce calcaire avec le schiste inférieur, nous rencontrons la trace de la roche ignée dont nous avons parlé précédemment.

Immédiatement au-dessous de cette roche, nous retrouvons une série de griffons ayant les mêmes allures et les mêmes directions. Dans ces gîtes, du puits *Hilarion*, la calamine affecte un facies tout spécial. Ces griffons sont remplis par la calamine et le fer; quelquefois celui-ci y domine en si grande proportion, qu'il appauvrit la calamine à un point tel qu'elle n'est plus exploitable fructueusement; quelquefois aussi, le remplissage est fait en entier par le fer.

La calamine a ici, le plus souvent, un aspect caverneux ; des vides affectant des formes régulières prouvent qu'il y a eu déplacement d'un centre minéral autour duquel la calamine est venue se déposer, et qu'un phénomène postérieur a fait disparaître. D'autres fois, le minerai est une superposition de couches accumulées, de quelques millimètres d'épaisseur, de carbonate de zinc, dont les teintes varient du blanc au gris, au vert et au bleu. Ces calamines ont presque toutes une teneur en cuivre de $0^{m},50$ à $1^{m},50$ qui leur donne, par places, une coloration verte ou bleue fort agréable à l'œil.

Si les calamines du *Laurium* se présentent à l'œil sous tous les aspects variés dont nous venons de parler, si leurs teneurs sont également variables, suivant la position du gisement qui les a fournies, on peut dire aussi que leurs qualités, à la calcination, sont également très diverses. Dans les gisements supérieurs, c'est-à-dire de premier et deuxième contacts, les qualités sont on ne peut plus variables; l'état plus ou moins argileux, calcareux ou ferrugineux, influence grandement la manière dont ces minerais se comportent dans les fours.

Comme nous l'avons dit plus haut, c'est vers la fin de 1875 que la construction des fours de calcination a été décidée; très peu de temps, par conséquent, avant la constitution de la Société Française des *Mines du Laurium*, et c'est cette Compagnie qui a donné suite à l'exécution de ce projet qui comportait une batterie de douze fours ayant une capacité de 17^{m^3},50 avec une hauteur de 4^{m},58.

En avril 1876 commença la première mise à feu, et successivement toute la batterie fut allumée. Outre ces fours, il en a été construit nouvellement deux autres, d'une capacité un peu plus grande, sur le plateau de Camaresa, là où la production la plus active a lieu en ce moment. Un seul puits, le puits *Serpieri*, peut à lui seul fournir 100 tonnes de calamine par jour; il a son approvisionnement préparé, aujourd'hui, pour assurer une semblable extraction pendant plusieurs années en calamine qui, après grillage, contient plus de 65 pour 100 de zinc; les travaux d'aménagement, qui s'y poursuivent sans désemparer, augmentent chaque jour cette réserve de l'avenir.

Le combustible employé est la lignite d'Oropos ou l'anthracite du pays de Galles.

Le prix total de la calcination revient à 3 fr. 60 c., environ, par tonne brute.

La production actuelle, rien qu'en calamine en provenance du troisième contact, c'est-à-dire à de hautes teneurs, est environ de 4,000 tonnes par mois; mais, qu'une hausse se produise sur le zinc, et qu'il soit avantageux alors de livrer, à la fabrication de ce métal, des minerais de teneur au-dessous de 50 p. 100, la Compagnie Française des *Mines du Laurium* pourra, si besoin est, doubler facilement sa production, en livrant à l'abatage les minerais des contacts supérieurs, qu'elle réserve aujourd'hui pour des temps meilleurs.

Minerais de plomb, leur préparation. — Étudiés au point de vue industriel, les minerais de plomb du Laurium acquièrent une place très importante à cause de leur riche teneur en argent. Leur abondance est immense; mais, par contre, ils sont d'une composition très complexe qui oppose au travail de séparation et d'enrichissement mécanique, des difficultés qui ne peuvent être surmontées que par une grande habileté pratique; quelques-uns mêmes échappent complètement à ce traitement, et ce n'est que par la fusion qu'il est possible d'en tirer parti.

Avec de tels minerais, le triage à la main est rendu, industriellement, absolument impossible; car, pour obtenir une tonne de matière marchande, il faudrait en manier au moins 25 à 30; ces conditions, par trop onéreuses, ont expérimentalement démontré qu'il fallait renoncer à ce travail et se borner, soit au fond, soit à la sortie des mines, à un triage rapide ayant pour but d'éliminer les stériles, à faire quelques grandes catégories, lorsque cela est possible, pour blende et pyrite, puis à livrer le tout au broyage. Un triage plus complet avec cassage au marteau, en plus de son prix de revient trop élevé, a encore pour inconvénient majeur de faire perdre dans les rejets de 5 à 6 0/0 de plomb. Or, comme les stériles, rejetés par le lavage, n'emportent au maximum que 1 0/0 du plomb, il est évident que ce serait une véritable faute que de vouloir trier plus à fond par le travail à la main.

En sortant de la préparation qui le rend apte à la fonte, le minerai de plomb donne un métal fortement arsénical et antimonieux, c'est certainement un grave inconvénient; mais, il y a compensation, et ce défaut est largement racheté par les mattes cuivreuses et nickélifères, qui se produisent à la fonte. Cette fonte s'effectue du reste dans de bonnes conditions, ainsi qu'on a pu le constater dès la mise à feu du premier four de réduction.

L'outillage des laveries du Laurium est peu compliqué; car, en dehors des appareils de broyage et de classement, l'enrichissement s'opère uniquement, pour les grenailles et les sables, sur les cribles à grille filtrante Huet et Geyler; des round-buddles ont servi jusqu'à ce jour pour enrichir les boues qui sont fondues sur place dans les fours de la Compagnie.

En raison de la grande variété des minerais, et de la difficulté qu'oppose à la séparation mécanique leur composition complexe, on devait

prévoir, *à priori*, qu'il était nécessaire de traiter séparément, non seulement les minerais en provenance des gîtes distincts, mais aussi que pour chaque gîte, il faudrait probablement se résoudre à diviser les matières par un triage rapide en catégories, comme par exemple :

Galène très pyriteuse;
Galène très blendeuse;
Galène mêlée blende et pyrite.

Pour les laver à part et ensuite, par des repassages successifs, obtenir la séparation de la galène, de la blende et de la pyrite.

Cette méthode, assez généralement suivie, présente de grands inconvénients auxquels nous voulions nous soustraire; ces reprises sont coûteuses de main-d'œuvre partout, et cette dépense est rendue plus sensible dans un pays, comme la Grèce, où cette main-d'œuvre est très chère, en même temps qu'inhabile et peu soigneuse; de plus, la multiplicité du repassage est une cause sérieuse de perte par entraînement, surtout pour l'argent. Dans le but d'échapper à ces causes de pertes, nous avons disposé les ateliers de lavage en vue d'obtenir, autant que possible du premier coup et avec le minimum de repassages, la séparation des minerais contenus dans la matière première livrée aux ateliers de lavage, dans lesquels toutes les manutentions s'exécutent mécaniquement, les unes à la suite des autres, sans aucun secours de la main-d'œuvre (Pl. 149).

L'ensemble de ces usines, qui peuvent recevoir et traiter au moins 100 tonnes de minerai brut en vingt-quatre heures, se compose de deux halles distinctes : l'une destinée au lavage des matières telles qu'elles arrivent des mines, la seconde halle recevant les produits mixtes en provenance du premier lavage.

La première laverie, dite *laverie principale*, occupe une surface de 1,215^{m},69, l'outillage y est groupé symétriquement de telle sorte que, au besoin, on peut, si des circonstances y obligent, ne faire fonctionner qu'une partie de l'usine sans qu'il y ait ni interruption ni gêne dans le travail, au besoin même on y peut traiter parallèlement deux minerais de compositions différentes, l'un du côté droit de l'usine, tandis que l'autre s'élaborerait dans l'outillage de gauche. Bien entendu que toutes les manutentions s'exécutant mécaniquement, la main-d'œuvre s'y trouve réduite à son minimum.

Dans les laveries, on ne voit en effet que le personnel juste nécessaire pour surveiller le fonctionnement des outils. Aucun service de roulage n'a lieu dans l'intérieur, tous les produits, quels qu'ils soient, riches ou pauvres, se recueillent, et tombent directement dans les wagonnets qui doivent en opérer l'enlèvement. Les riches sont roulés au magasin, les stériles aux remblais, tandis que les mixtes vont à la laverie qui leur est destinée. Cette laverie accessoire, conçue dans le même esprit, reçoit ces matières, les soumet au broyage fin pour en extraire les derniers produits qu'on en peut tirer. Sa surface est de 970 mètres.

Récolte des Produits fournis par les Laveries. — Comme il est très important de pouvoir maintenir l'atelier, à l'intérieur, dans un état de propreté aussi complet que possible, et d'y éviter tout mouvement trop actif de va-et-vient; afin de réaliser cette condition, nous avons, au *Laurium*, comme dans plusieurs autres grands établissements créés antérieurement, rejeté en dehors de l'atelier tout le service relatif à la récolte et à l'enlèvement des produits fournis par le lavage. Le sol des laveries a été fixé alors à un niveau assez élevé, au-dessus de celui de la cour, afin que toutes les matières évacuées par les cribles soient recueillies extérieurement. Le long des murs des usines il a été établi, hors de l'atelier, autant de bassins de réception plus un, que de cases à chaque crible; chacun de ces bassins correspond par un tuyau en fonte à la case à laquelle il est destiné. Entre l'orifice de ce tuyau de décharge et le bassin qui lui correspond, on a ménagé une hauteur suffisante pour y pouvoir présenter une petite brouette en tôle, dans laquelle le tuyau verse les matières solides avec l'eau qui les entraîne; la brouette qui est à bascule, une fois pleine, est enlevée et immédiatement remplacée par une autre vide; la brouette est poussée et roulée soit au magasin, soit à la laverie des mixtes. S'il arrive que la brouette déborde, son trop-plein tombe dans le bassin et rien ne se perd; toutes les semaines on peut alors faire la vidange de ces bassins et en extraire les produits qui s'y sont accumulés peu à peu. Cette disposition rend, comme on le voit, l'enlèvement et le roulage très économiques. Pour les stériles, dont le volume est beaucoup plus considérable, nous avons établi un système voies ferrées qui permettent d'amener, sous le tuyau des stériles,

un petit wagon à bascule d'une capacité plus grande que celle des brouettes.

Moteurs, Pompes. — L'alimentation des divers appareils nécessite une dépense d'eau très grande; mais, parmi ces appareils, il en est qui doivent être placés à une certaine hauteur au-dessus du sol de l'atelier, comme les trommels et les caisses de classification; tandis que d'autres, comme les cribles et les round-buddles, sont directement placés sur le sol. Il importait donc, pour éviter, en élévation d'eau, une dépense de puissance motrice inutile, de séparer les eaux en deux : une partie pour être refoulée à un point plus élevé, l'autre à un point plus bas; dans ce but, nous avons arrêté qu'il serait construit deux réservoirs; le plus élevé y_2 destiné à l'alimentation des trommels, etc., etc., et, à 3 mètres en contre-bas, un autre réservoir y_1 pour le service des cribles, etc., etc. (Voir l'ensemble des laveries, Pl. 149.)

Dans un puits x plongent les aspirations de deux puissantes pompes v_1 et v_2; la première alimentant le réservoir y_1, tandis que la seconde refoule les eaux dans le réservoir y_2.

La laverie principale et la laverie des mixtes sont actionnées chacune par une machine Compound u_1, u_2; une machine u_3 semblable est spécialement destinée au service des pompes.

Les eaux sont très saumâtres, il fallait donc songer aussi à préserver les générateurs de leur action corrosive; dans ce but, chaque moteur est flanqué d'un condenseur marin, du système Stapfer et Duclos. Dans ces condenseurs est forcée de passer, si on le veut, la totalité de l'eau refoulée par les pompes; la vapeur, en sortant des moteurs, y est condensée et sert indéfiniment à l'alimentation des générateurs; cette condensation se fait donc sans dépense.

Cependant, comme il y a toujours, quoiqu'on fasse, une perte de vapeur et, par suite, d'eau, au remplacement de laquelle il faut pourvoir, nous avons pris encore une autre précaution, qui a pour but de nous fournir de l'eau distillée gratuitement pour remédier à ces pertes; sur le parcours des conduits de fumée, entre le foyer et la cheminée, nous avons établi des bouilleurs-distillateurs dans lesquels s'opère l'évaporation à très basse température (70°), parce que ces bouilleurs sont tenus en communication avec la pompe à air du condenseur. La quantité

d'eau, ainsi produite par distillation, est beaucoup plus que suffisante pour pourvoir au remplacement.

Le personnel main-d'œuvre, employé pour le service complet de ces deux laveries, ne dépasse pas trente individus, hommes et gamins.

Le minerai soumis au lavage entre dans les ateliers de préparation à la teneur moyenne de 9 à 10 p. 100 environ en plomb.

Dans la première période de leur mise en travail, alors qu'on avait à se préoccuper de la formation du personnel, bien plus que du rendement, les laveries produisaient des minerais de plomb qui sortaient de l'usine à la teneur moyenne en plomb de 50 p. 100. Les blendes contenaient environ 5 p. 100 de plomb et les stériles 3 p. 100.

Les produits obtenus actuellement accusent de notables progrès auxquels on s'attendait du reste. Les minerais de plomb sortent à la teneur moyenne de 60 p. 100; les blendes; teneur en plomb, 2 à 2,80 p. 100; les stériles rejetés emportent en plomb au plus 1 p. 100 seulement. L'amélioration est donc très sensible et l'on touche presque à la limite des teneurs qu'il est possible d'espérer atteindre. Mais, ce qu'il y a de plus intéressant, c'est que cette méthode permet d'enlever du premier coup, en galène riche, de 65 à 70 p. 100 du plomb, et jusqu'à 90 p. 100 de l'argent contenu dans le brut, tout en donnant des blendes marchandes et des pyrites galéneuses également très propices à la fonte.

Le prix de revient est inférieur à ceux obtenus dans les laveries différemment conçues.

En résumé, de novembre 1875 à ce jour, la Compagnie Française des Mines du *Laurium* a accompli, il faut le reconnaître, un travail immense, malgré les difficultés du milieu où elle opérait. En six mois, ses fours de calcination étaient achevés et mis à feu; et le service, se régularisant peu à peu par la pratique, était en fonctionnement parfait après une année de mise en marche.

En un an, les laveries étaient également achevées, et leur marche serait actuellement satisfaisante et normale, si l'extraction permettait de leur livrer la matière en suffisante quantité.

L'extraction des calamines, limitées au début aux gîtes de surface, à cause de quelques raisons légales qui s'opposaient alors à l'attaque des gîtes du fond, a été poussée avec une activité telle, que fin 1876, on

avait déjà pu abattre et expédier plus de 6,000 tonnes. Les travaux du fond ayant été rendus libres en mars 1877, on voit pendant cette année la production et la livraison des calamines atteindre le chiffre de 21,000 tonnes en 1878. Les gîtes de surface, dont la teneur en zinc est trop pauvre, eu égard aux cours actuels, sont réservés pour un meilleur avenir; les gîtes du fond, seuls, produisent à raison de 4,000 tonnes de calamine riche par chaque mois.

Quant aux minerais de plomb, leur extraction a été entreprise plus tardivement, et c'est maintenant qu'ils commencent à prendre toute l'extension dont ces gîtes, jadis et encore si puissants, sont capables.

Déjà deux fours de réduction sont en marche, et les résultats de cette mise en train annoncent que, une fois régularisée, la marche de la fonte donnera aussi des produits très satisfaisants. Ces fours ont une hauteur de 5m,50, ils passent en vingt-quatre heures jusqu'à 30 tonnes de minerai. Les expériences auxquelles on vient de se livrer prouvent que, au besoin, on y pourrait, même avec profit, passer des minerais donnant un lit de fusion à la teneur de 8 à 10 p. 100 de plomb, même moins.

Les moyens d'embarquement, qui permettent actuellement de charger environ 300 tonnes par jour, sur les steamers qui arrivent dans le port d'Ergastiria, vont encore être améliorés.

Pour les ouvriers, des villages salubres et des habitations, aussi confortables que les circonstances le permettent, ont été créés en divers lieux de la concession.

Un hôpital est actuellement en construction.

Depuis le début des opérations, plus de 40 grands navires ont déjà pris charge à Ergastiria pour se rendre dans les ports européens de Marseille, Swansea et Anvers.

Enfin, plus de 1,500 ouvriers vivent et se civilisent, chaque jour, au contact du travail que leur procure la Compagnie Française des Mines du *Laurium*.

Les établissements de cette Compagnie constituent, incontestablement, la plus grande et la plus florissante de toutes les entreprises implantées en Grèce, et l'on peut ajouter encore que, comparée aux entreprises similaires, c'est également au premier rang que se place l'exploitation des Mines du *Laurium*.

Par suite de l'initiative française, la Grèce a donc été dotée, en l'es-

pace de quinze années, d'une industrie puissante et remarquable; d'abord par la création des usines métallurgiques du *Laurium*, en 1863; puis par la reprise et le développement des mines du même district, le tout sous l'habile impulsion de MM. Hilarion Roux et J.-B. Serpieri, de telle sorte que là où trônaient, il y a si peu de temps encore, le silence et le brigandage, règnent aujourd'hui l'activité du travail et la prospérité publique, lesquelles ont donné naissance à la ville maritime d'Ergastiria, aujourd'hui de plus de 5,000 âmes, et le dernier mot n'est pas dit.

MÉMOIRE ANALYTIQUE

SUR LE

MATÉRIEL DE LA VOIE

PRÉSENTÉ A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

RÉSUMANT

LES ÉTUDES ET DISCUSSIONS DES MEMBRES DE LA SECTION DU MATÉRIEL DE LA VOIE[1]

PAR **E. LECOCQ**,
SECRÉTAIRE-RAPPORTEUR.

Par le présent Mémoire d'ensemble, nous nous sommes proposé de permettre, à ceux des Membres de la Société qui ne pourront prendre connaissance des études de la section du matériel de la voie que par le *Bulletin* (et c'est le plus grand nombre), de s'en faire tout au moins une idée générale, et d'apprécier les points les plus intéressants des appareils exposés.

Nous avons cherché, pour cela, à indiquer surtout les particularités saillantes des divers appareils décrits, renvoyant (pour le cas d'études spéciales) aux détails donnés par les nombreux dossiers, réunis par les divers Membres de la Section et dont on trouvera la nomenclature à la fin du Mémoire.

L'ordre suivi a été la classification du programme d'études arrêté dans la première réunion, il comprend les divisions suivantes :

1° ***Voie normale et accessoires*** (rails, traverses en bois, coussinets, boulons, tire-fonds, poteaux télégraphiques, etc.);

2° ***Voie entièrement métallique;***

3° ***Tramways*** (voie);

1. Membres de la section : M. H. Mathieu, président; M. Lecocq, secrétaire ; MM. Bazaine (Achille), Danvers, Daveluy, Dujour, Flachat (Ivan), Hallopeau, Lecointe.

4° ***Appareils de voie*** (changements, croisements, signaux, plaques tournantes, barrières, chariots roulants, appareils d'alimentation, etc.);

5° ***Appareils de levage et de pesage*** (grues fixes et roulantes, bascules pour wagons);

6° ***Petit matériel des gares;***

7° ***Usines et forges*** (procédés de fabrication).

VOIE NORMALE ET SES ACCESSOIRES.

La voie normale n'était guère représentée à l'Exposition de 1878, au moins comme ensemble, que dans la section Française[1].

Les points principaux qui ressortent, tout d'abord, des différentes notices et spécimens exposés sont :

1° *Généralisation de l'emploi de l'acier pour les rails;*

2° *Augmentation de la longueur normale des rails, portée en France à* 8 *mètres*, sauf :

Pour la Compagnie d'Orléans qui jusqu'ici s'en tient à 5m,50 ainsi que la Compagnie du Midi, cette dernière cependant fait un essai de rails de 11 mètres (soit deux fois le rail de 5m,50 pour la facilité du remplacement dans l'entretien).

Quant à la question, depuis si longtemps discutée, du meilleur type (double champignon ou Vignole), les avis paraissent toujours partagés. Trois grandes Compagnies Françaises emploient le type double champignon[2], et les autres ont adopté d'une façon complète le rail Vignole.

A l'étranger, au contraire, la question paraît plus tranchée et le type Vignole semble être le plus en faveur, sauf, toutefois, pour l'Angleterre qui s'en tient, en général, au type double champignon d'un poids dépassant quelquefois 40 kilogrammes.

1. Nous avons cependant trouvé dans les expositions étrangères, particulièrement dans les section de l'Autriche-Hongrie et de la Suisse, un certain nombre de croquis et de notices sur la pose et l'entretien des voies.

2. La Compagnie de l'Ouest, bien que maintenant le type double champignon, emploie néanmoins le type Vignole léger, de 30 kilogr., en acier, pour ses lignes nouvelles à faible trafic.

Partant de ce principe que l'élément le plus important de la stabilité de la voie réside dans son grand poids : les Anglais trouvent, dans l'emploi du type double champignon, comme principal avantage, celui d'obtenir, avec les coussinets dont le prix est notablement inférieur à celui des rails en acier, *une voie lourde* d'un prix moins élevé qu'avec le type Vignole et, aussi, plus stable, par suite du plus grand enfouissement des traverses. Il y a lieu d'y ajouter les suivants :

1° Facilité et rapidité du remplacement des rails ;

2° Plus grande utilisation par suite du retournement ;

3° Et, aussi, meilleure conservation des traverses mieux garanties par le ballast.

Malgré cela, il paraît difficile d'arriver, par la simple discussion des avantages et inconvénients de chacun des deux types en présence, à faire prévaloir l'un ou l'autre d'une manière absolue. Cette question a, du reste, été traitée longuement par M. Couche dans son ouvrage sur « la Voie et le Matériel roulant [1]. » Nous y renvoyons pour une étude plus approfondie, mais nous pensons que la prolongation de l'expérience dans les conditions sérieuses du trafic normal journalier, permettra seule de juger la question au point de vue pratique et sans appel.

Nous donnons ci-après, et sous forme de tableau, pour faciliter la comparaison, les conditions principales d'établissement de la voie normale dans chacune des grandes Compagnies de chemins de fer Français [2].

Les points principaux qui ressortent de l'examen de ce tableau, en dehors de ceux, signalés ci-dessus, concernant la nature du métal et la longueur des rails sont :

1° Application générale d'une disposition pour empêcher le glissement longitudinal de la voie ;

2° Généralisation de l'éclissage en porte à faux, sauf pour la Compagnie du Nord ;

3° Cote invariable de 0,600 pour l'écartement des traverses contre-joints ;

4° Poids élevé de l'élément fonte dans la voie de l'Ouest [3] ;

1. Tome I, pages 16 et suivantes.

2. Voir à la fin du Mémoire le tableau A.

3. Le poids du coussinet de l'Ouest, ancien type, est de $9^{k},100$; la surface de base 255×100. Le nouveau type, employé avec le rail acier de $38^{k},75$, pèse 15 kilog. environ et a une surface de base de 250×140 ; un coussinet de même base, mais avec deux nervures et deux trous pour tire-fonds à l'extérieur, est employé avec le même rail, pour les parties en courbe.

5° Enfin, différence importante entre les poids, par mètre courant de voie, du type double champignon et du type Vignole.

Voie Bergeron. — Pour ne rien omettre comme pose de voie, nous citerons le projet proposé par M. Bergeron.

Dans ce système, les rails sont posés sur traverses placées de champ, tous les 2 mètres, avec huit tasseaux intermédiaires (quatre sous chaque file), placés également de champ et enfoncés à refus dans le ballast, comme les traverses, à coup de demoiselle.

La couche de ballast, à partir du niveau supérieur des traverses et tasseaux, est de 450 environ; au-dessous se trouve une couche de pierres cassées avec tuyaux de drainage destinés à l'assainissement complet de la plate-forme en ballast.

Cette disposition, non essayée, ne paraît pas essentiellement pratique. (Voir communication et discussion séance du 22 novembre 1878).

TRAVERSES EN BOIS.

I. — TYPE DES TRAVERSES.

Au point de vue du type des traverses en bois, peu susceptible, d'ailleurs, de modification importante, nous n'avons trouvé, à l'Exposition, que les essais présentés par M. Lévêque et M. J. Gayda.

1° *Traverse Lévêque.* — Consiste en un rondin de $2^m,20$ de longueur, 0,130 à 0,150 de diamètre, ajusté, au moyen d'entailles, sur deux plateaux de $\frac{0,250 \times 0,400}{0,060}$, placés à la partie inférieure.

La partie supérieure est sabotée, comme à l'ordinaire, pour recevoir le rail; une plate-bande en fer de $0,010 \times 0,040$, percée de deux trous taraudés, est encastrée dans la partie sabotée et affleure la partie supérieure du bois. — Le rail est fixé par deux tire-fonds à double filetage, dont un pour le bois et l'autre pour le fer.

En somme, il nous paraît y avoir, surtout, dans cette traverse, une augmentation du nombre des pièces sans compensation avantageuse.

2° *Traverse Gayda.* — L'inventeur partant de ce principe : que la majeure partie des traverses des voies ne sont réellement mauvaises qu'aux attaches du rail, et qu'il est, en général, facile de tirer d'une vieille traverse une longueur saine égale à la moitié de ladite traverse, propose d'établir, *pour les voies de garage*, un système mixte composé de deux moitiés saines de vieilles traverses retirées des voies principales, et réunies, en leur milieu, au moyen de vieilles éclisses ou de plaques spéciales fixées par des tire-fonds galvanisés.

Au point de vue de la résistance, M. Gayda rappelle, dans sa notice, que, avec un bourrage bien fait, la traverse doit travailler comme un solide reposant sur deux points d'appui à l'aplomb des rails, et que, par suite, son assemblage du milieu ne doit avoir aucun effort sérieux de flexion à supporter.

L'expérience qu'il a faite de sa traverse lui a très bien réussi, dit-il, malgré le passage de très lourdes machines sur les voies secondaires établies dans ces conditions.

II. — PRÉPARATION DES TRAVERSES.

A. — RÉSULTATS OBTENUS.

FRANCE.

Les Compagnies de l'Ouest et du Midi ont exposé divers spécimens de traverses préparées et retirées des voies, pour être envoyées à l'Exposition dans le but de montrer les résultats que l'on peut obtenir avec une bonne préparation.

1° *Compagnie de l'Ouest.*

a. — Traverse en hêtre[1] encore en bon état de conservation après dix-sept ans de service sous le tunnel de Saint-Pierre (ligne de Rouen à Dieppe). La préparation en a été faite avec 18 kilogr. de créosote par traverse.

1. La Compagnie de l'Ouest emploie le hêtre en quantité à peu près égale au chêne, et en obtient de bons résultats.

b. — Traverse en sapin rouge de la Baltique, en service depuis onze ans dans le tunnel de Pissy-Poville (ligne de Rouen au Havre). La préparation en a été faite avec 13 kilogr. seulement de créosote.

2° *Compagnie du Midi.*

Le tableau suivant résume les renseignements fournis par la Compagnie du Midi sur les huit échantillons de traverses en pin des Landes exposés.

DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS.	NATURE DE LA PRÉPARATION.	TEMPS DE SERVICE.	LIEUX D'EMPLOI.
N°s 1 et 2 ...	Créosote.......	26 ans 8 mois..	Ligne de Bordeaux à Cette.
N° 3.......	Id.........	17 ans 11 mois.	Idem.
N° 4.......	Id.........	8 ans 9 mois...	Ligne de Bordeaux à Irun.
N°s 5, 6 et 7.	Sulfate de cuivre.	15 ans 10 mois.	Ligne de Bordeaux à Irun. Ligne de Toulouse à Bayonne. Ligne de Toulouse à Foix.
N° 8.......	Id.........	15 ans 5 mois..	Ligne de Bordeaux à Cette.

La préparation à la créosote a été faite avec $7^k,500$ environ par traverse et celle au sulfate avec 6 kilogr. environ par mètre cube.

L'état de ces traverses était très satisfaisant et ne nécessitait pas un retrait immédiat du service.

Sans présenter les résultats obtenus, avec les spécimens exposés, par les Compagnies de l'Ouest et du Midi, comme des moyennes à atteindre, on voit que la préparation, au sulfate de cuivre et surtout à la créosote, permet de prolonger, dans une notable proportion, la durée des traverses.

Il est à noter, il est vrai, que les traverses exposées ont été employées pour des voies à double champignon, condition certainement favorable à leur durée, par suite d'une meilleure garantie par le ballast et d'une moindre détérioration par les changements de rails.

ÉTRANGER.

Nous trouvons, dans les sections étrangères, peu de documents relatifs à la préparation des bois.

La Compagnie du chemin de fer du Nord Ferdinand-d'Autriche,

a présenté le relevé ci-dessous résumant les résultats obtenus, et qui nous a paru intéressant à reproduire.

NATURE DES TRAVERSES.	POURCENTAGE DU REMPLACEMENT APRÈS :											
	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans
Pin sylvestre au naturel.	»	»	»	44,12	70,60	91,25	»	»	»	»	»	»
Chêne..............	»	»	0,032	0,138	0,541	1,250	3,950	8,929	18,338	25,701	41,465	74,728
Pin sylvestre préparé au chlorure de zinc.....	»	»	»	0,087	0,214	0,354	1,162	2,025	»	»	»	»
Chêne..............	»	»	»	0,042	0,086	0,222	1,033	»	»	»	»	»
Chêne créosoté........	»	»	0,020	0,047	0,077	0,085	0,352	»	»	»	»	»

Malheureusement nous ne trouvons pas, en France, d'éléments qui nous permettent d'établir une comparaison, mais on peut déduire du tableau ci-dessus, que le chlorure de zinc, encore employé en Allemagne [1] pour la préparation des bois, paraît inférieur à la créosote, au moins pour le chêne.

B. — PROCÉDÉS DIVERS EXPOSÉS.

1° *Conservateur plombique Descalonne et Cie.* — MM. Descalonne et Cie, ont exposé quelques traverses préparées avec un sel de plomb qu'ils désignent sous le nom de *Conservateur plombique* (sous-acétate et oxyde de plomb).

Ce produit s'injecte par tous les moyens en usage, soit mécaniquement en vase clos, par le vide et la pression, soit par déplacement de la sève (système Boucherie modifié par les inventeurs).

La préparation est faite avec un mélange de 15 kilogr. du produit par mètre cube d'eau.

Les avantages indiqués par les inventeurs sont :

1° Combinaison insoluble avec les diverses parties de bois ;

2° Transformation en sel métallique imputrescible de toutes les matières qui, dans le bois, présentent des ferments de décomposition ;

3° Neutralité des sels de plomb en présence du fer ;

4° Durcissement considérable des fibres du bois.

1. Surtout, paraît-il, par question d'économie de premier établissement.

De plus, toujours d'après les inventeurs, ce procédé, en faisant perdre aux bois leurs propriétés hygrométriques, les empêche de se gauchir, se disjoindre, en un mot de « travailler. »

Il est à craindre que la manipulation des sels de plomb ne soit dangereuse pour les agents chargés du travail de la préparation; aussi, dans un essai fait à la Compagnie du Nord, pour la préparation de 6,000 traverses, le travail a été exécuté par les agents des inventeurs. La Compagnie avait seulement prêté son atelier de Creil.

Le temps seul, pour des essais de ce genre, peut en sanctionner la valeur, et les essais de la Compagnie du Nord paraissent trop récents pour permettre de conclure pour ou contre le procédé.

Le prix de revient est d'environ 1 fr. par traverse.

2° *L'Enduit universel*[1]. — A base calcaire et hydrofuge, peut, d'après l'inventeur, être employé avec facilité sur des bois même imbibés d'eau de mer.

On l'étend en couche faible avec un pinceau, comme on ferait d'une peinture, puis, après un certain temps de séchage, on le fait pénétrer dans le bois en brossant la surface avec une brosse dure pour le faire pénétrer à froid.

Un kilogramme de cet enduit, convenablement étendu d'eau, peut couvrir une surface d'environ 15^{m^2}.

Le prix est de 1 fr. le kilogramme.

Ce procédé est donc relativement économique, mais il a tout au moins l'inconvénient de ne préserver absolument que la surface.

Il n'aurait donc pas de valeur pour des bois qui devraient subir un travail d'ajustage après leur préparation, ou dont la surface serait susceptible d'être entamée par une cause quelconque.

3° *Procédé Blythe.* — M. Blythe a exposé un certain nombre d'échantillons de bois traités par son nouveau procédé, désigné sous le nom de « Thermo-Carbolisation, » et qui diffère essentiellement de ceux qui ont été employés jusqu'ici.

Ce procédé (étudié par M. Blythe depuis 1869) est basé sur la combinaison chimique intime de l'acide phénique avec les différentes parties du bois auquel il communique ses propriétés astringentes et

1. Exposition des ports de mer.

antiseptiques et dont, d'après l'inventeur, il change la structure d'une façon absolue, tant pour le cœur que pour l'aubier.

Ce résultat est obtenu en soumettant le bois en grume, écorcé, ou débité, dans une chaudière parfaitement close, à l'action de vapeurs hydro-carburées et de vapeur d'eau à haute pression (3 à 6 atmosphères) arrivant en jet par l'une des extrémités de la chaudière.

Les vapeurs carburées circulant dans la chaudière, à l'état de courant continu, sont disséminées par la projection du jet de vapeur d'eau et elles pénètrent dans le bois par toute sa surface.

Les vapeurs condensées, la sève et l'eau chassées du bois par l'extrémité opposée à l'arrivée du jet de vapeur, s'écoulent, par la partie inférieure de la chaudière, dans des réservoirs spéciaux, servant de condenseurs.

Au bout d'une demi-heure, en moyenne, la pression dans la chaudière arrive à 4 atmosphères, on se contente alors de la maintenir pendant environ un quart d'heure ou une demi-heure, suivant les essences, et la préparation est terminée.

A la fin de l'opération, dit l'inventeur, le bois ne contient plus que très peu d'eau, l'albumine restant est coagulée et l'acide phénique, combiné d'une façon intime avec les fibres du bois, lui communique ses qualités.

M. Blythe ne voit non seulement aucun inconvénient à faire subir cette préparation aux bois fraîchement coupés, mais il recommande de les préparer dans cet état, ce qui en somme peut présenter un intérêt dans bien des cas.

En se basant sur l'emploi de 2 kilog. d'acide phénique brut, l'inventeur établit ainsi le prix de la préparation du mètre cube de bois.

Acide phénique 2 kilog.[1]	2 fr.
Combustible.	1
Main-d'œuvre et divers.	2
Total.	5 fr. par ^{m3}.

M. Blythe signale, dans sa notice, que par ce procédé les bois de toutes essences sont non seulement conservés mais changés, durcis; le hêtre notamment, dit-il, peut être obtenu aussi dur et d'une couleur aussi riche que certains bois exotiques[2].

1. Acide phénique hydraté du commerce.

2. Un buffet, fabriqué en bois de chêne préparé par le procédé Blythe, était exposé dans la section autrichienne.

M. Blythe croit nécessaire, pour les *traverses de chemins de fer* et autres emplois de bois exposés à l'humidité, de compléter la préparation ci-dessus par une immersion dans un bain de liquides goudronneux, ramassés dans les condenseurs, et additionnés d'une certaine quantité d'huile lourde élevée à une température d'environ 80°, ou obtenus de toute autre façon. Il conclut de ses essais, que, pour le *pin des Landes*, 3^k d'huile lourde[1] sont suffisants pour le traitement d'une traverse; dans ces conditions, il établit comme suit le prix de la préparation complète par traverse.

Huile lourde ou coaltar 3 kilog.	0^f.25
Combustible.	0^f.05
Main-d'œuvre et divers.	0^f.30
Total.	0^f.60

ce qui en comptant 11 traverses au mètre cube, ramène le prix total à 6 fr. 60 le mètre cube.

En résumé, par la préparation ci-dessus analysée[2], on chasse la majeure partie de la sève et de l'eau contenue dans les tissus, on coagule l'albumine, et en même temps l'on préserve, par l'acide phénique, les fibres ligneuses et les parties de la sève non évacuée, en les mettant à l'abri des parasites de toute espèce. Il paraît donc présenter de sérieuses garanties; les expériences qui se continuent[3], permettront de vérifier, d'une façon pratique, la valeur de ce nouveau procédé.

ÉCLISSAGE.

Les éclisses sont employées d'une façon générale tant en France qu'à l'étranger. — Comme types particuliers exposés nous citerons.

1. L'huile lourde ou créosote, remplace, ici, l'acide phénique hydraté employé pour les autres bois.

2. Voir pour plus de détails la note publiée par M. Leroide dans le *Bulletin* de la Société (septembre et octobre 1877, pages 747 et suivantes).

3. Notamment en France, dans les chantiers de la Compagnie de l'Ouest, à Mantes.

FRANCE.

1° *L'Éclisse arrêt.* — Employée par la Compagnie de Lyon pour sa voie P-L-M-A (fig. 1, pl. 147); le but de cette pièce est d'empêcher le glissement longitudinal de la voie, par le fait de la butée du bas de l'éclisse contre les selles en fer des traverses contre-joints;

2° *L'Éclisse coudée de la Compagnie de Lyon.* — Le champignon du rail en acier pouvant être usé de 10 millimètres avant que le rail soit retiré des voies, on conçoit que le remplacement d'un rail, sur une voie déjà usée d'un certain nombre de millimètres, ne pourrait se faire, sans inconvénient, par un rail neuf, avec l'éclisse ordinaire.

La Compagnie P.-L.-M. remédie, d'une façon pratique, à cette difficulté, par l'emploi d'éclisses coudées dans le plan vertical; avec un approvisionnement de pièces semblables, variant de 2 en 2 millimètres, depuis 2 jusqu'à 8. On peut toujours intercaler un rail neuf sur une voie déjà usée sans avoir, au maximum, plus de 2 millimètres de différence de niveau.

La fig. 2, pl. 147, donne une idée du fonctionnement de ces pièces, leur emploi suppose une vérification préalable de l'usure des rails. La Compagnie P.-L.-M. exposait, en même temps que son type d'éclisse, un petit appareil très simple à l'aide duquel cette vérification peut être aisément faite (fig. 3, pl. 147).

ÉTRANGER.

Comme caractère général, on peut dire qu'il ressort des différents modèles exposés, qu'il y a une tendance prononcée à renforcer l'éclissage en employant des éclisses à nervures horizontales ou verticales. Nous citerons comme types particuliers :

1° Italie. — *L'éclissage des Chemins de fer Romains.* (Éclisse en acier avec aile horizontale à la partie inférieure pour l'éclisse intérieure, et à la partie supérieure pour l'autre, fig. 5, pl. 147).

Dans ce type, on a profité de la nervure horizontale inférieure de l'éclisse intérieure, pour arrêter le mouvement de glissement de la voie au moyen de deux crampons, entrant dans des encoches faites dans cette partie de l'éclisse; d'un autre côté, on a pu, en donnant une tête spéciale au boulon, supprimer l'ergot et par suite percer les trous au lieu de les poinçonner, ce qui a un intérêt avec l'emploi de l'acier.

2° Autricue — *a*. L'exposition de l'Autriche-Hongrie contenait un certain nombre d'éclissages qui ne présentaient, comme particularité, que le renforcement par des nervures horizontales.

b. — *Eclisse porte-roue*[1]. Dans ce type, exposé également dans la section Autrichienne, les éclisses sont terminées, à la partie inférieure, par une aile horizontale; l'arrêt de la voie est obtenu par des crampons entrant dans les encoches de l'*éclisse extérieure;* mais le but principal que l'inventeur s'est proposé d'atteindre est d'éviter les chocs au passage des joints en faisant porter, à ce moment, le bandage à la fois sur le rail et sur une sorte de champignon, qui existe à la partie supérieure de l'*éclisse extérieure*, et qui se termine de chaque côté suivant un plan incliné (fig. 7, pl. 147).

En admettant que ce résultat, suppression des chocs, puisse être obtenu, à peu près, avec des bandages neufs, il est à craindre qu'il n'en soit plus de même lorsqu'ils seront usés au roulement (ce qui en somme est le cas général); en tous cas il est à noter que le coût de cet éclissage est sensiblement plus élevé que celui des types courants ordinaires.

3° Suède. — 1° *Eclissage à angle; 2° Eclissage profond.* Le premier se compose de deux éclisses ayant la forme d'une cornière légèrement ouverte avec profil intérieur disposé pour se raccorder avec le rail. (Type de l'éclisse intérieure des croquis, fig. 7, pl. 147.)

L'arrêt de la voie est obtenu, comme dans les cas précédents, à l'aide de crampons entrant dans des encoches de la partie horizontale.

Le principe de l'éclissage dit « profond » est le même que celui du type P.-L.-M. décrit plus haut, avec cette différence cependant que la butée de l'éclisse, pour l'arrêt de la voie, a lieu sur la traverse au lieu de se faire contre la selle en fer, ce qui ne présente pas la même solidité, et nécessite des traverses spéciales parfaitement équarries. (Voir fig. 6, pl. 147).

La note qui était jointe aux pièces exposées indiquait que le premier joint a pu supporter, *sans flèche permanente*, une charge de 15 tonnes avec un rail supportant, dans les mêmes conditions, 20 tonnes en dehors de ses appuis.

1. Système Bergmann. — Appliqué en Allemagne, notamment sur les lignes du Nord Empereur-Ferdinand et de l'État Autrichien.

Pour le second, la charge supportée, sans flèche permanente, a été de 20 tonnes avec le même rail.

Ces renseignements, fournis par la notice de l'exposant, montrent que le but que l'on se propose est d'arriver à obtenir la même résistance absolue au joint et en dehors du joint, ce qui n'existe pas avec l'éclissage ordinairement usité en France.

PETITS ACCESSOIRES DIVERS DE LA VOIE.

(CHEVILLETTES, TIRE-FONDS, BOULONS, ETC.)

Nous n'avons rien d'important à signaler pour les petits accessoires de la voie. Nous citerons seulement :

FRANCE.

1° *Tire-fonds.* — M. Delsaut a exposé un nouveau modèle de tire-fond à filet très allongé dont la particularité semble être de tenir le milieu entre le crampon et le tire-fond, en ce sens qu'il peut être enfoncé par percussion, ce qui ne paraît pas être une amélioration.

2° *Selles.* — MM. Bopp-Dupont ont exposé les différents modèles de selles en feutres qu'ils ont fournies aux diverses Compagnies.

La Compagnie du Nord emploie des selles en feutre du même genre, sous le patin de son rail Vignole, et cela surtout, paraît-il, dans le but de parer aux irrégularités du sabotage fait à la main et empêcher, par le fait du joint compressible, l'interposition du menu ballast entre le rail et la traverse. Ce résultat est obtenu d'une façon suffisante en pratique en faisant, avec quelque soin, les premiers resserrages après la pose.

D'autre part, le goudron de Norwége, dont ces pièces sont imprégnées, est favorable à la conservation de la partie entaillée des traverses.

Des essais faits à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée n'ont pas eu de suite, et cela pour cause d'écrasement et disparition à peu près complète du feutre, quelques mois après la pose.

ÉTRANGER.

Chevillettes. — On a pu voir, dans la section Anglaise (Exposition Saxby) un modèle de chevillette ronde fendue à la pointe dans le but de recevoir après la pose un coin en fer qui, en ouvrant les deux parties, empêche son enlèvement par la partie supérieure.

L'emploi de cette pièce suppose un mode de montage des voies différent de celui usité en France.

Crampons. — La Suède a exposé un crampon à tige étranglée à la partie inférieure, qui semble être employé par le chemin de fer de l'État.

Le but que l'on se propose d'atteindre par cette disposition est de faciliter le maintien de la pièce par suite de la pénétration du bois dans les parties étranglées. On ne peut guère compter obtenir ce résultat qu'avec des bois tendres.

Les Américains avaient exposé un modèle, tendant à réaliser le même but, mais avec un renflement au lieu d'étranglement.

APPAREILS A RELEVER LES VOIES.

Quatre types différents d'appareils à relever les voies ont figuré à l'Exposition, leur but est de remplacer le grand levier, dont on se sert en général pour ce travail, et dont un des inconvénients est d'exiger des hommes un effort constant pendant tout le temps de l'opération.

Trois des appareils étaient exposés dans la section Française et un dans la section Autrichienne. Nous donnons ci-dessous une courte description de chacun.

FRANCE.

Cric Manier. — Cet appareil, facilement transportable par deux hommes à l'aide de quatre tringles articulées en fer rond, est composé d'un bâti léger, également en fer, reposant sur le ballast par deux patins en tôle, et d'un cric, à la partie supérieure, destiné à

transmettre un mouvement vertical à une pièce suspendue après une chaîne, et qui saisit le rail à la façon des pinces à étirer.

La manœuvre est faite par deux hommes agissant sur deux manivelles transmettant le mouvement, à la crémaillère qui supporte la chaîne et sa pince, au moyen de pignons dentés.

Des essais faits, à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, avec cet appareil pour des relevages un peu forts (0,150) ont donné des résultats satisfaisants. Le prix de l'appareil est de 250 fr.

Appareil Clément Ader (exposé par MM. Raynaud Béchade et Cie). — Cette « machine à relever les rails, » comme la désigne l'inventeur, est composée de deux crics à crémaillère maintenus à l'écartement voulu par un châssis léger en fer, afin de leur permettre d'agir chacun sur une file de rails.

A l'inverse de l'appareil précédent, c'est la crémaillère, terminée à sa partie inférieure par un lourd patin lui servant de base d'appui, qui est fixe, et c'est tout le mécanisme qui monte avec la voie.

Sans doute, en raison de son poids, qui paraît assez considérable, cet appareil est disposé pour être transporté sur la voie elle-même au moyen de quatre petits galets.

Vu le poids, le volume et le manque de liaison rigide entre les différentes parties de l'appareil, son enlèvement rapide de la voie dans le cas de passage d'un train paraît présenter une certaine difficulté [1].

Vérin Beugger (exposé par MM. Corpet et Bourdon). — Cet appareil se compose d'un socle en tôle auquel est fixé un système articulé, en forme d'X, qui peut être ouvert ou fermé par l'intermédiaire d'une vis, également fixée au caisson, et qui est manœuvrée facilement à l'aide d'une clé à béquille par un seul homme.

L'appareil agit à la partie inférieure du rail.

Son poids est de 30 à 35 kilogr.; son prix est de 95 fr.

Cet appareil est, paraît-il, assez employé en Allemagne et en Suisse; en France, il est employé par certains entrepreneurs, et le chemin de fer de l'État en a pris, à la suite de l'Exposition, une dizaine à l'essai.

1. Cet appareil a été employé, pour la première fois, il y a une dizaine d'années environ, par plusieurs entrepreneurs, pour les travaux de la construction de certaines lignes de la Compagnie du Midi.

ÉTRANGER.

Cric G. Schwarz (section autrichienne). — Cet appareil se compose d'un patin fixe en fonte, servant de base, sur lequel se trouve fixée une vis transmettant le mouvement à une partie mobile destinée à soulever le rail et qui est guidée de façon à ne pouvoir se déplacer que verticalement.

Comme dans le cric précédent, un homme, en agissant sur la vis au moyen d'une clé à béquille, peut facilement faire fonctionner l'appareil.

Son poids est de 25 à 30 kilogr. environ.

Les deux derniers systèmes, agissant en dessous du rail et étant placés en dehors de la voie, présentent l'avantage de ne pas nécessiter leur enlèvement dans le cas de passage d'un train pendant les travaux.

APPAREILS A COURBER LES RAILS.

Le cintrage des rails en fer pour la pose en courbe s'est fait jusqu'ici, en France du moins, d'une façon simple, sur les chantiers, en laissant tomber le rail de champ, d'une certaine hauteur (variant de $0^m,90$ environ à $0^m,60$) sur deux traverses en bois.

L'espacement des traverses et la hauteur de chute variaient suivant la longueur des rails et la flèche à obtenir.

Cette méthode, un peu primitive, paraît avoir disparu avec l'emploi de l'acier, en raison des chances de rupture qui pouvaient en résulter. Certaines Compagnies, et c'est le plus grand nombre, ne cintrent même plus les rails en acier avant la pose, à moins de rayons exceptionnellement faibles, la courbure de la voie est obtenue en agissant au moyen du levier, sur les traverses déjà garnies de ballast; d'autres obtiennent la courbure des rails à l'aide de la presse à dresser ordinaire. Aussi la section Française ne renfermait-elle aucun appareil spécial pour le cintrage des rails.

Nous en avons trouvé un dans la section Autrichienne, inventé par

M. Schrabetz, ingénieur à Vienne, la construction en est simple et la manœuvre facile.

L'appareil de pression est une sorte de vérin à vis terminé aux deux extrémités par deux cales dont la forme extérieure, est, en relief, celle du demi-profil du rail, afin de répartir la pression sur toute la surface.

L'écartement des deux cales, ou supports d'appuis, est obtenu en agissant, au moyen d'un grand levier spécial, sur une roue dentée faisant corps avec la plus forte des deux vis de l'appareil servant d'écrou fixe à la seconde, laquelle, par suite du mouvement de rotation de la première, se déplace horizontalement.

Le cintrage est fait sur les chantiers de la manière suivante :

Cinq ou six rails réunis, à chacune de leurs extrémités, dans une sorte de longue chape en fer, servent de base d'appui. Le rail à courber est buté contre l'autre extrémité des chapes; afin d'éviter son glissement longitudinal, un teton, existant à chaque point d'appui, pénètre dans un des trous des boulons d'éclisses.

Deux des appareils ci-dessus mentionnés sont placés entre le rail à cintrer et les cinq ou six autres, et cela, à une distance symétrique des extrémités et égale environ au cinquième de la longueur totale. Ces deux appareils étant mis en mouvement simultanément par l'oscillation des leviers manœuvrés par deux hommes, permettent de faire fléchir le rail de la quantité voulue.

Pour éviter la flexion des rails d'appui, des coins métalliques, ayant le profil des rails, sont intercalés entre chacun d'eux, en face du cric de cintrage.

Tel qu'il est combiné, ce genre de cric de pression permet de produire un effort de 80 kilos par millimètre carré de la section du rail; son poids, relativement peu considérable, en rend le transport facile.

L'inventeur indique dans sa notice, que, en mai 1878, cet appareil était, onze mois après son début, adopté par trente Compagnies de chemins de fer.

POTEAUX TÉLÉGRAPHIQUES.

Il n'y a rien de bien particulier à signaler à propos des poteaux télégraphiques en bois.

Au point de vue de la préparation, il est bien entendu que tout ce que nous avons dit plus haut pour celle des traverses s'applique également aux poteaux en bois.

La Compagnie des chemins de fer du Midi en avait exposé quatre échantillons, retirés du service pour être envoyés à l'Exposition, et qui montrent les bons résultats que l'on peut obtenir avec une préparation convenable.

Les échantillons n°s 1 et 2 ont été préparés à la créosote, ils avaient 22 ans de service lors de leur envoi à l'Exposition.

Les n°s 3 et 4, préparés au sulfate de cuivre, en avaient l'un 23 et l'autre 20.

L'état de conservation, encore très satisfaisant, de ces divers échantillons, montre que, pour la durée, on n'a pas lieu d'être mécontent du service du bois ; néanmoins, en raison des dimensions importantes de ces pièces et de la qualité irréprochable des bois destinés à leur usage, on commence à se préoccuper du moment où l'approvisionnement en deviendra difficile et, par suite, le prix élevé ; c'est ce qui a conduit à essayer des poteaux métalliques.

On a pu en voir une assez grande variété de toutes les dimensions à l'Exposition de l'Administration des Télégraphes.

D'autre part, M. Desgoffe en avait exposé un certain nombre au parc découvert de la voie.

Les poteaux ordinaires de ligne sont, le plus généralement, composés de deux tôles pliées suivant la forme d'un fer zorès et réunies entre elles au moyen de rivets placés dans les parties plates (fig. 8 et 9, pl. 147). Suivant la hauteur et les efforts qu'ils ont à supporter, la résistance est augmentée au moyen de tôles ou de fers demi-ronds rivés sur les premières tôles et entre les ailes.

Les poids et prix varient avec la hauteur du poteau et l'effort qu'il doit supporter.

Le tableau suivant donne, d'après M. Desgoffe, les renseignements pour une ligne chargée au maximum de 10 fils.

HAUTEUR totale du poteau.	NOMBRE de fils.	HAUTEUR de la partie en terre.	POIDS du poteau.	EFFORTS supportés.	PRIX.
m.		m.	k.		fr.
5.00	6	0.80	25	80	17.50
6.00	6	1.00	40	200	24.00
6.50	10	1.15	50	300	30.00
8.00	10	1.50	95	300	56.00
9.50	10	1.70	150	300	85.00
11.00	10	1.80	220	300	128.00
15.00	10	2.00	400	300	230.00
20.00	10	2.50	600	300	340.00
25.00	10	3.00	850	300	450.00

Mais c'est surtout pour les poteaux spéciaux (poteaux d'angles, terminus, de raccordement, etc.), que l'emploi du fer peut présenter un certain intérêt, par suite de la difficulté et quelquefois de l'impossibilité de trouver des pièces de bois de dimensions suffisantes. Les figures 10 à 13, pl. 147, donnent les sections usitées pour les poteaux d'angle et de raccordement.

Il est bien entendu, que, suivant la hauteur et les charges desdits poteaux, on les consolide facilement au moyen de tôles suivant fig. 12, pl. 147, par exemple. Un poteau d'angle carré, de 3 mètres de hauteur et pouvant supporter 48 fils, pèserait environ 400 kilos et son prix serait de 200 à 220 francs.

Un poteau de raccordement, fig. 13, de même hauteur, pèserait, environ, 260 kilos et coûterait 145 francs.

L'Administration française des Télégraphes a déjà fait d'assez importantes applications de poteaux métalliques, établis suivant les types dont il est parlé ci-dessus.

L'Angleterre et la Belgique en ont également à l'essai, et le gouvernement russe se dispose, paraît-il, à en faire une très large application sur ses réseaux.

GABARIT DE CHARGEMENT.

Les spécimens exposés étaient entièrement métalliques.

1° *Compagnie de l'Ouest.* — Le type exposé par cette Compagnie est du modèle adopté depuis 1872.

Le bâti supportant le gabarit proprement dit est en fer U de $\frac{140 \times 52}{8}$.

Les fondations en charpente sont remplacées par 2 cloches en fonte, sur chacune desquelles vient se fixer une des extrémités du bâti.

Le gabarit construit avec un fer à T de $\frac{65 \times 55}{10}$, cintré suivant le profil libre de la Compagnie et établi en 2 parties, tant pour la facilité de la fabrication que pour celle de l'entretien, est suspendu, au moyen de 4 chaînes, à la charpente extérieure.

Le poids de l'appareil complet est de 510 kil. et son prix de 210 fr.

2° *M. Desgoffe* avait également exposé, au Parc de la Voie, un spécimen de gabarit métallique avec poteaux en tôle pliée suivant la forme d'un fer zorès [1], le but que paraît s'être proposé l'inventeur est surtout la grande économie dans le prix de premier établissement.

VOIE MÉTALLIQUE.

La crainte de manquer un jour de bois pour les traverses de chemins de fer et, tout d'abord, d'en voir le prix s'élever dans des proportions peu en rapport avec leur durée, ainsi que les mauvais résultats obtenus par l'emploi du bois pour cet usage dans certaines contrées, et, enfin, le désir de créer un nouveau débouché à l'industrie métallurgique ont poussé à la recherche d'une *voie entièrement métallique.*

Jusqu'ici bien des essais ont été faits dans ce but.

L'Exposition nous montre, par les nombreux spécimens qui y sont représentés, que, loin de diminuer, ces recherches ne font qu'augmenter.

La solution du problème présente, du reste, des difficultés assez sérieuses pour stimuler le zèle des ingénieurs qui s'occupent de cette question; pour ne citer que les principales, nous indiquerons les suivantes :

1. M. Desgoffe applique ce genre de construction aux poteaux télégraphiques, poteaux kilométriques, mâts de signaux, etc. (Voir les dessins au dossier de la section.)

1° Trouver une forme de support (traverse, longrine ou support isolé), qui fasse aussi exactement corps avec le ballast, que les pièces en bois ;

2° Obtenir une voie stable, malgré la diminution de poids résultant de l'emploi du fer ou de l'acier pour remplacer le bois ;

3° Trouver une attache, simple et solide, qui ne permette aucun déplacement du rail sur son support ;

4° Le tout doit, enfin, être d'une pose, d'un entretien et d'un remplacement faciles.

En raison du grand nombre d'essais présentés à l'Exposition et du cadre relativement restreint de ce rapport, nous ne donnerons ici qu'une nomenclature générale des types exposés, avec quelques détails sur ceux qui paraissent se rapprocher des conditions à remplir, en renvoyant, pour une étude plus approfondie, aux notes très complètes remises à la section par M. A. Bazaine sur ce sujet, et, pour les principales critiques faites, aux procès-verbaux des réunions de la section.

Nous diviserons les types de voies métalliques exposés en trois classes :

1° Voies sur traverses;

2° Voies sur longrines ;

3° Voies sur supports isolés.

FRANCE.

Voie sur Traverses:

1° Type de M. Brunon Bʳ ;
2° — M. Compagnon (exposée par Lamothe);
3° — M. Grand;
4° — M. Giessner;
5° — M. Jucqueau ;
6° — M. Lemoine;
7° — M. Lenoir;
8° — M. Massardier (voie d'usine) ;
9° — M. Papin;
10° — M. Vautherin;
11° — M. Vidal.

Voie sur Longrines :

1° Type de M. Brunon B[r] ;
2° — M. Vautherin.

ÉTRANGER.

Voie sur Traverses :

1° Type de M. Legrand (Belgique) ;
2° — l'usine de Couillet (Belgique) ;
3° — M. Harty (Belgique);
4° — M. Oesterreicher (Autriche) ;
5° — M. Prenninger (Autriche) ;
6° — M. de Soignie (Belgique).

Voie sur Longrines :

1° Type de MM. Hagemeister et Wagner (Autriche);
2° — M. Hilf (Belgique) ;
3° — M. Hohenegger (Autriche) ;
4° — M. Legrand (Belgique) ;
5° — MM. de Serres et Battig (Autriche);
6° — M. de Soignie (Belgique) ;
7° — M. Speild (Autriche).

Supports isolés :

1° Type en acier de Mac Lellan (Angleterre) ;
2° Type en fonte des forges de Tœsdale (Angleterre).

Pour ne parler, ainsi qu'il est dit ci-dessus, que des types qui paraissent se rapprocher des conditions principales à remplir, nous ne décrirons que les suivants :

FRANCE. — 1° *Traverse Brunon.* — Cette traverse est en tôle d'acier, emboutie complètement en matrice à la presse hydraulique, en une seule chaude, puis recuite ; l'attache du rail est spéciale (boulon coudé et taquet).

La forme du corps de la traverse, en double cône opposé, paraît devoir être favorable à la stabilité transversale de la voie, le bourrage sous le rail, tant par bout que par côté, ne présente pas de difficultés; l'attache, facile à monter et à entretenir, a donné, pour le cas du rail Vignole, toute satisfaction dans les essais faits dans une de nos grandes Compagnies de chemins de fer Français (fig. 14, pl. 147).

Aucun essai n'a encore été fait avec le rail double champignon.

Poids d'une traverse avec accessoires : 32 kilogrammes.

Prix d'une traverse avec accessoires : 10 à 11 francs.

2° *Traverse Vautherin.* — Sorte de fer zorès à base horizontale sur laquelle le rail est fixé, d'un côté par un taquet, et, de l'autre, par une forte goupille faisant ressort (cas du rail Vignole).

Ce type a figuré à l'Exposition de 1867, sous le nom de Traverse Ménans, il a subi depuis quelques modifications au point de vue de l'attache du rail.

La modification a consisté à remplacer le système d'attache par clavetage, par un autre, à ressort, qui ne paraît pas présenter toute garantie de solidité.

Cette traverse est employée en Algérie et en Allemagne (100,000 environ sont en service), mais avec l'ancienne attache.

Poids d'une traverse avec accessoires 30 kil. par $2^{m},40$.

Prix d'une traverse avec accessoires : 7 francs environ.

3° *Traverse Vidal.* — Fer U recourbé aux deux extrémités avec bloc de bois entre les ailes et selle en fer pour appui du rail.

Ce type est une modification de la *traverse de l'usine de Couillet*, qui a figuré à l'Exposition de 1867, et qui était représentée également en 1878, par quelques spécimens placés sous une locomotive de cette Usine [1]. La modification a consisté à courber les extrémités, dans le but de donner de la stabilité à la voie dans le sens transversal, et à ajouter une selle en fer, sous le rail, pour mieux répartir la pression sur la fourrure en bois et consolider l'attache du rail [2].

1. L'usine de Couillet emploie son type de traverse métallique, depuis seize ans, pour ses voies d'usine, et elle s'en déclare très satisfaite, tant au point de vue de la facilité du placement que de l'entretien.

2. Le nombre relativement grand des pièces composant l'attache, et la nécessité de débourrer la traverse pour changer les boulons, sont deux inconvénients sérieux pour l'entretien courant.

	Traverse intermed.	Traverse de joint.
Poids d'une traverse avec accessoires :	52 kil.	57 kil.
Prix d'une traverse avec accessoires :	13 fr.	14 fr. 25 c.

ÉTRANGER. — 1° *Voie Longrine de Serres et Battig* (*Autriche*). — Chaque file de voie est composée de deux fers spéciaux soutenant un rail en acier, à simple champignon, et à surface de roulement inclinée ; ces files de longrines sont réunies et entretoisées, 2 à 2, tous les $2^m,40$, par une traverse en fer à quadruple aile, et dans l'intervalle les deux parties de chaque longrine sont soutenues par trois pièces en fer du même profil que la traverse, et désignées sous le nom de « *Coussinet-Serres.* »

Le glissement du rail est empêché par de simples goupilles traversant l'âme du rail et les parties verticales des longrines, tout en laissant le jeu nécessaire à la dilatation.

Les fig. 15-17, pl. 147, montrent comment se fait l'assemblage des diverses pièces.

La longueur des parties de longrines est assez faible ($4^m,75$), pour permettre la pose en courbe sans cintrage des pièces. Les joints des pièces formant longrines sont chevauchés entre eux, et par rapport aux rails dont la longueur est de $9^m,600$.

Poids du mètre de simple voie 120 kilogrammes environ.

2° *Voie Longrine Achille Legrand* (*Belgique*). — Ce type a une grande analogie avec le précédent, les différences principales consistent :

1° Dans l'emploi d'une traverse à double T au lieu du quadruple T ;

2° Dans la modification de la manœuvre d'assemblage : les longrines traversant les traverses, contrairement à ce qui a lieu dans le type de Serres et Battig.

La solidarité entre les longrines et traverses paraît moins grande que dans la voie « de Serres et Battig, » et les détails semblent moins étudiés.

Poids par mètre courant de voie : 122 kilogrammes.

3° *Voie à supports isolés. — Cloches élastiques de Mac Lellan* (*Angleterre*). — Ces supports, en acier embouti, sont une modification de l'idée de la cloche Greave, en fonte, très employée dans les pays où le bois est difficile à approvisionner et se comporte mal, et où le

ballast en sable est favorable à leur emploi. (Notamment en Égypte et aux Indes.)

L'emploi de l'acier est certainement préférable à la fonte sous le rapport de l'élasticité de la voie, et par suite de la conservation du matériel.

Un essai fait aux Indes anglaises avec des pièces de ce type de 3 millimètres environ d'épaisseur, a donné de bons résultats au point de vue de la résistance.

La fig. 18, pl. 147, donne une idée de cette voie, favorable surtout avec le rail Vignole.

Pour un écartement de $0^m,910$ entre chaque support, le poids des supports et accessoires est de $32^k,200$ par mètre courant. (Voie Vignole.)

TRAMWAYS.

L'origine des «Tramways» remonte à près de deux siècles [1]. Établis tout d'abord en bois, on les améliora par l'addition de bandes de fer plat. Ces bandes furent ensuite remplacées par des fers spéciaux de la forme ⌊__, dont la partie verticale avait une saillie suffisante pour *guider* les roues, sans cependant nuire à la circulation des autres voitures, puis en intervertissant les formes on arriva à la disposition avec rail nettement en saillie sur la chaussée et roues à rebords ou boudins, ce qui obligea à spécialiser la voie. Enfin, après quelques modifications, on est arrivé à la forme actuellement en usage et dont les divers types diffèrent peu entre eux, en France tout au moins.

Les spécimens exposés ne paraissent pas présenter d'amélioration bien importante sur le type généralement en usage à Paris, et qui est, il est vrai, le résultat de 20 années de pratique.

Quelques mots sur ce type nous serviront de base pour la comparaison à faire avec les spécimens exposés.

Le rail (en fer ou acier selon les Compagnies) usité à Paris est creusé suivant un profil à ornière dont l'un des côtés (le plus large) sert au roulement des véhicules, et l'autre forme simplement « *contre-*

1. Ce genre de voie a été établi en Angleterre, au dix-septième siècle, pour les transports de houille, des mines aux lieux d'embarquement.

rail. » Ce rail est supporté par une longrine en bois à laquelle il est réuni, généralement, au moyens de boulons passant dans des trous percés dans l'ornière, ou bien (pour le tramway Sud, par exemple) par des sortes d'agrafes métalliques à deux pointes, dont l'une entre dans un trou percé dans la partie verticale du rail formant joue.

Quelques Compagnies n'entretoisent pas les longrines de la voie, qui ne sont maintenues dès lors que par les pavés. (Compagnie des Omnibus.)

D'autres les entretoisent à la partie inférieure avec des traverses en bois.

Et enfin, une troisième disposition consiste à les relier par des bandes de fer plat.

Les aiguilles des changements de voie sont en général fixes, et c'est par la direction imprimée aux chevaux, que le cocher fait passer son véhicule sur une voie ou sur l'autre.

Pour les têtes de lignes, les tramways qui ne sont pas disposés pour l'attelage dans les deux sens (Compagnie des Omnibus, par exemple) sont tournés de la façon suivante :

Après avoir rendu l'avant-train mobile, le cocher guide ses chevaux de manière à engager les roues sur quatre files de rails disposés en courbe, et établis de telle façon que leur développement soit égal au chemin parcouru, dans le mouvement, par chaque roue. Ce mouvement tournant se fait au pas, d'une façon très courante.

Voie retournable. — M. Saint-Yves a exposé un type de rail qui se rapproche de ceux ci-dessus décrits. La section en forme d'un double trapèze, dont l'un est renversé par rapport à l'autre, a été établie par l'inventeur dans le but d'augmenter le service de son rail en permettant le retournement pour le roulement sur la face *c. d.* une fois la face *a. b.* usée.

M. Saint-Yves propose de couper obliquement les extrémités des rails pour diminuer l'usure résultant du martelage, qui se produit avec la disposition ordinaire au passage d'un rail à l'autre.

Les éclisses proposées par l'inventeur sont en deux parties : l'une en fer ou acier et l'autre en fonte.

Les entretoises sont métalliques.

Voie de Liverpool. — On trouvera, dans les dossiers de la section,

deux croquis d'une voie de tramway appliquée à Liverpool, et représentée à l'Exposition par un petit modèle.

La forme extérieure du rail a quelques rapports avec celle des tramways de Paris, mais l'ensemble du montage est certainement plus compliqué.

Les autres types exposés peuvent être classés en deux catégories, que nous désignerons comme suit :

1° *Rails à ornières sans longrines ;*

2° *Rails sans ornières pouvant servir à tous les véhicules.*

Dans la première de ces deux divisions, nous trouvons les divers types suivants :

1° Cinq modèles différents proposés par M. Achille Legrand (maître de forges, à Mons). On en trouvera les dessins très complets au dossier.

Pour deux de ces types, le rail proprement dit repose sur traverses métalliques, par l'intermédiaire de pièces également métalliques, servant de coussinets. (Poids de la voie : 59 à 67 kil. le mètre courant.)

Dans un troisième, la longrine en bois est remplacée par un fer ⌶ à larges ailes reposant directement sur une couche de béton. (Poids de la voie : 70 à 72 kil. le mètre courant.)

Enfin, les deux derniers modèles sont du type Vignole (de $0^{m},140$ de haut), avec très large base, reposant directement sur béton, et champignon à ornière, l'écartement est maintenu par des fers plats. (Poids de la voie : 56 à 58 kil. le mètre courant.)

2° M. Broca a exposé un type de rail étudié sensiblement suivant le même principe que le type précédent (forme Vignole avec champignon à gorge), seulement la hauteur et la base sont de dimensions moindres; ce rail est établi, suivant son inventeur, pour reposer sur traverses en bois (espacées de $1^{m},50$), par l'intermédiaire de pièces en fonte, dont le but est de surélever assez le rail pour permettre l'introduction d'une couche de ballast épaisse entre la traverse et le dessous du pavage;

3° MM. Aldred et Spielmann ont exposé en petit modèle, l'installation d'une voie avec leur rail en deux parties symétriques et par suite retournables.

Ce rail composé repose sur traverses par l'intermédiaire de coussinets

en fonte dans lesquels il est fixé au moyen de clavettes longitudinales.

Les inventeurs font remarquer que, outre la facilité de retournement, leur système présente l'avantage de ne pas percer le rail, et de pouvoir être facilement démonté sans qu'il soit nécessaire de dépaver la chaussée ;

4° Le rail exposé par M. Mathias jeune, a la forme d'un T avec forte tête creusée en ornière, soit en somme, comme extérieur de la surface de roulement, sensiblement celle des rails des tramways de Paris.

Ce rail repose sur de larges blocs en grès ou en fonte, dans lesquels il est fixé au moyen de clavettes, l'écartement de la voie étant maintenu par des bandes de fer intercalées entre les pavés.

Dans la 2e classe (rail sans ornière) nous trouvons :

1° Le système Edge (de Birmingham), consistant en des longrines en fonte, dont la section est celle d'un trapèze reposant directement sur le sol par sa plus large base la plus petite qui est plane est destinée au roulement des véhicules, dont les roues sont munies de pointes qui entrent dans des trous percés sur la longrine.

Ce système paraît devoir présenter de très graves inconvénients à une vitesse même restreinte.

2° *Rail Omnibus* de M. Baradat.

Le nom donné par son inventeur, indique bien que le but qu'il s'est proposé d'atteindre est celui de permettre l'accès de la voie à tous les véhicules.

L'ensemble du rail a une largeur approximative de $0^m,200$, il peut être établi, suivant l'inventeur, en une ou deux parties (la seconde hypothèse paraît tout au moins plus pratique comme fabrication).

La partie intérieure est une bande plate, et l'autre, plus résistante, est établie avec gorge-rainure, pour le roulement des véhicules ayant des roues à saillies en boudins ;

3° M. Delcourt a exposé un modèle et des dessins très clairs, indiquant le type de voie qu'il propose pour rendre les voies de tramway accessibles à toutes les voitures.

Le principe est le suivant :

Emploi de rails à surface de roulement plane au niveau de la chaussée avec galet central directeur, roulant dans un petit rail, qui ne sert absolument que de guide.

La note détaillée de l'inventeur et le dessin, que l'on trouvera dans le dossier de la section d'étude, permettent une appréciation complète de ce système, qui a été consciencieusement étudié par son auteur.

On trouvera également au dossier :

1° Une note de M. Poullain de la Motte, sur son type de rail universel;

2° Une brochure de M. Dufranc Macart, sur la construction des Tramways;

3° Et enfin, une brochure de M. Cordier, sur un projet de tramway granit.

Il est à remarquer que les divers spécimens de tramway exposés, ne paraissent pas indiquer que leurs auteurs se soient en rien préoccupés de la question de l'amélioration des croisements et changements de voies.

APPAREILS DE VOIE.

A. — Changements et Traversées

1° *Traversée à aiguilles exposée par la Compagnie de l'Ouest.* — Cet appareil ou plutôt cette combinaison d'appareils comprend :

Quatre changements de voies conjugués pour la manœuvre;
Deux croisements de traversée;
Deux croisements ordinaires.

Son but est de faire communiquer entre elles et dans toutes les directions, deux voies qui se coupent sous un angle aigu (5° 30 à 7° 30), et cela, avec le minimum d'espace, son emploi paraît donc surtout avantageux dans les gares où l'on manque de place, et, dans tous les cas, il facilite la rapidité des manœuvres pour le passage d'une voie sur une autre dans les deux directions.

Cet appareil assez répandu en Angleterre, est également appliqué, dans les gares, par les Ingénieurs allemands.

En France, il n'est encore que peu employé. La Compagnie de l'Ouest en a un dans sa gare de Vitré, et le spécimen exposé était destiné, croyons-nous, à la gare du Mans.

Les rayons des courbes de raccordement relativement courts (130^{m} pour 7° 30 et 200^{m} environ pour 5° 50[1]), ne présentent pas d'inconvénient sérieux, le passage en ces points étant toujours fait à faible vitesse.

La conjugaison de la manœuvre des aiguilles, en rend la manœuvre plus simple tout en assurant la sécurité.

La Compagnie des chemins de fer de l'Est a environ une douzaine de ces appareils en service, et elle paraît disposée à en étendre l'emploi.

2° *Commutateurs pour sonneries d'aiguilles manœuvrées à distance.* — Lorsque, par une raison quelconque, on est conduit à placer le levier de manœuvre d'une aiguille, à une distance assez grande de ladite aiguille pour ne pas permettre à l'agent chargé de ce service de s'assurer *de visu*, que l'appareil a complètement obéi à la commande, il y a intérêt à lui donner un moyen de contrôle.

Les Compagnies de l'Ouest et du Nord ont exposé chacune un spécimen des commutateurs à sonneries électriques qu'elles emploient dans ce but.

a. Commutateur de l'Ouest. — Cet appareil se compose, comme partie essentielle, d'un ressort isolé, coudé en forme de fer à cheval, dont chaque extrémité s'appuie sur un contact métallique, ces contacts communiquent l'un avec la terre, l'autre avec la pile, de telle sorte que le circuit électrique n'est complet, et, par suite, la sonnerie ne fonctionne que lorsque le ressort, abandonné à lui-même, touche les deux contacts, c'est-à-dire, pendant le temps de la manœuvre de l'aiguillage.

Cet appareil, enfermé dans une boîte en fonte, est installé aussi près que possible du changement de voie.

Une pièce rigide, en forme de T, fixée verticalement sur la tringle de manœuvre, près de l'aiguille, pénètre dans la boîte en fonte du commutateur; la position de cette pièce est déterminée de telle façon que, lorsque l'aiguille est à fond de course, dans un sens ou dans l'autre, la partie supérieure du T vient écarter l'extrémité correspon-

1. Pour la disposition étudiée par la Compagnie de l'Ouest.

dante du ressort, ce qui interrompt le passage du courant électrique, et, par suite, détermine l'arrêt de la sonnerie, qui ne fonctionne, par conséquent, que pendant l'intervalle de temps nécessaire à la manœuvre de l'aiguillage. L'agent entendant la sonnerie pendant la manœuvre est assuré, lorsqu'elle cesse, que le changement a complètement obéi à sa commande.

Le prix d'un commutateur est de 40 francs environ (non compris les piles, la sonnerie et les fils avec leurs accessoires).

b. Commutateur du Nord. — La Compagnie du Nord arrive au même résultat à l'aide du commutateur à mercure, système Lartigue.

Avec cet appareil, tant que l'une des aiguilles n'est pas complètement appliquée sur son rail appui, un courant électrique continu détermine le fonctionnement d'une sonnerie trembleuse placée près du levier de manœuvre.

Lorsque l'aiguille est exactement en contact avec le rail appui, elle agit sur une tringle horizontale qui fait basculer une petite boîte en ébonite, contenant du mercure, lequel, dans la position horizontale de la dite boîte, sert de conducteur entre les deux extrémités en platine du fil de circuit; dans la position inclinée, au contraire, l'un des deux fils se trouvant isolé, le circuit est interrompu et, par suite, la sonnerie cesse[1] (fig. 19, pl. 147). L'aiguilleur a donc de cette façon un contrôle sérieux.

160 appareils étaient en service au Nord en mai 1878.

L'installation complète du contrôleur double coûte environ 260 fr., pour une aiguille isolée, et, si plusieurs aiguilles sont contrôlées par la même sonnerie, 100 fr. de plus par nouvelle aiguille.

Enclanchement des aiguilles. — L'exposition de MM. Saxby et Farmer, de Londres, montrait une disposition basée sur un principe différent des précédents mais remplissant le même but.

Elle consiste à disposer dans la partie plate de l'entretoise en fer

1. Une disposition, basée sur le même principe, est appliquée par la Compagnie du Nord pour prévenir, automatiquement, certain point de la ligne de l'approche d'un train. Une pédale placée à l'intérieur de la voie, en basculant sous l'action de la première roue de la locomotive, établit, par le commutateur à mercure qui y est relié, le courant qui détermine le fonctionnement d'une sonnerie trembleuse placée au point à prévenir.

Des applications faites, depuis quatre ans, à la Compagnie du Nord, donnent de bons résultats.

La dépense d'installation est d'environ 200 francs, y compris la pose et tous accessoires.

de la pointe des aiguilles, deux mortaises établies de telle façon que lorsque l'aiguillage est à fond de course, dans un sens ou dans l'autre, l'une ou l'autre des mortaises vienne se placer en face d'un verrou glissant longitudinalement dans une gaîne, et manœuvré par l'aiguilleur.

Lorsque le verrou a obéi à la manœuvre faite par l'agent, ce dernier est donc certain que l'aiguillage est *à fond de course*, le sens de l'inclinaison de son levier lui indique de quel côté la voie est faite.

Par l'addition d'une pédale placée à l'intérieur de la voie, contre l'une des files de rails, en avant de la pointe du changement, et dont la manœuvre est dépendante de celle du verrou, ces messieurs ont pu rendre le déplacement de l'aiguillage impossible pendant tout le temps du passage d'un train, attendu que le boudin des bandages de roues des véhicules ne permet pas de déplacer la pédale et par suite le verrou de l'aiguillage.

Appareil de sécurité pour manœuvre d'aiguilles. (Système Paravicini).— Nous avons trouvé dans la section Autrichienne l'application, à un aiguillage, d'un appareil dû à M Paravicini et dont le but est de parer, automatiquement, aux irrégularités d'une manœuvre incomplète.

A cet effet, un fort levier en fer, long de 2 à 3 mètres environ, placé à l'extérieur de l'une des files de rails, est articulé à l'une de ses extrémités et peut se mouvoir dans le plan vertical autour d'un axe horizontal fixé dans le rail; l'autre extrémité du levier (près de la pointe de l'aiguille) est terminée par une pièce de fer taillée en coin des deux côtés.

D'autre part, la tringle de manœuvre des aiguilles est reliée à l'un des bras d'une équerre horizontale, dont l'autre bras est terminé également par une pièce en double coin dont les inclinaisons sont les mêmes que celles du grand levier.

La position de ces deux pièces est telle que la grande barre ne peut être horizontale, au niveau des rails et par suite en dehors de l'action des bandages, qu'à la condition que l'aiguille soit au contact parfait avec son rail appui.

Dans le cas où la manœuvre de l'aiguillage n'aurait pas été faite d'une façon complète, la barre sera au-dessus du niveau des rails, le bandage fera donc pression dessus et, en l'abaissant, fera fonctionner l'aiguillage par l'intermédiaire de l'équerre ci-dessus décrite.

Il faut admettre que le mouvement incomplet de l'aiguillage n'aura

pas tenu à ce qu'un obstacle dur, une pierre par exemple, se sera interposée entre l'aiguille et le rail appui, car, sinon, il est bien certain que la disposition décrite aurait des chances d'être insuffisante pour éviter le déraillement.

Un seul appareil de ce genre était représenté à l'Exposition, mais l'*Organ*, journal technique Allemand, spécial aux chemins de fer, en donne plusieurs autres types essayés, ce qui semble indiquer que l'idée est étudiée en Allemagne [1].

Changement Wharton. — Un petit modèle de cet appareil était exposé par la Société des Ingénieurs civils Américains. Le but que l'inventeur s'est proposé est d'éviter toute coupure de la voie principale à l'endroit du changement; pour cela il fait passer le boudin de la roue, du côté de la voie déviée, par-dessus le rail de la voie principale.

M. Malézieux a décrit complètement cet aiguillage dans son rapport de mission en Amérique. Il cite deux importantes Compagnies qui, à l'époque de son voyage, avaient appliqué sur une grande échelle ce type d'appareil, ingénieusement combiné [2].

Il y a lieu de remarquer que la coupure de la voie n'est évitée qu'au changement, elle subsiste toujours au croisement; d'autre part, pour un bon fonctionnement de l'appareil, la largeur des bandages paraît devoir être plus forte que celle usitée en France, et cela, afin de faciliter l'élévation de la roue du côté de la voie déviée au-dessus du rail de la voie principale.

Si, d'autre part, les chocs sont évités pour la circulation sur la voie principale (ce qui est très important il est vrai), il doit s'en produire d'assez forts pour le passage sur la voie déviée, surtout avec du matériel déjà usé.

Manœuvre des aiguilles. — Au point de vue des dispositions de manœuvre, l'Exposition, en dehors des manœuvres Saxby dont nous parlerons avec les signaux, et de la disposition de M. Moll pour une conjugaison de manœuvre par fils, ne présentait rien de nouveau.

La disposition proposée par M. Moll, bien qu'ingénieuse, ne paraît pas à recommander par suite du manque de sécurité qui résulterait de l'allongement des transmissions. Le *Bord-of-Trade*, dans son rapport

1. *Organ*, 1877, nº 50, appareil Hohenegger. — *Organ*, 1878, nº 2, appareil Pollitzert.
2. Lignes de Pensylvanie et de Philadelphie à Reading.

de l'exercice 1877, apprécie ainsi ce genre de manœuvre qui a été expérimenté en Angleterre :

« L'expérience montre que la manœuvre des aiguilles à distance « par des fils ne présente pas une sécurité suffisante, et que la ma- « nœuvre au moyen de tringles est préférable. Plusieurs accidents ont « été attribués à l'emploi des fils. »

CROISEMENTS.

Les types de croisements de voies présentés à l'Exposition de 1878 par les Compagnies de chemins de fer, avaient déjà figuré à celle de 1867, nous n'avons que peu de particularités à signaler à ce sujet.

Le type en *rails assemblés* est employé d'une façon exclusive depuis 1867 par la Compagnie de l'Est, qui en avait 3,400 en service au 1er janvier 1878.

La Compagnie du Nord emploie également ce modèle, ainsi que la Compagnie P. L. M. qui l'a adopté, depuis deux ans environ, en remplacement de son ancien type en acier puddlé d'une seule pièce, à la suite d'essais faits avec le métal Bessemer.

La Compagnie d'Orléans emploie toujours le croisement en rails assemblés mais avec pointe de cœur, en acier, rapportée.

Nous devons signaler le spécimen en rails assemblés exposé dans la Section anglaise (Exposition de MM. Tweddell). Cet appareil (système Price William), désigné par l'inventeur sous le nom de croisement continu, présente ceci de particulier que l'évidement nécessaire pour le passage du boudin des bandages, réduit à sa plus faible largeur, est obtenu à chaud par une sorte de moulage en matrice sous la pression d'une forte machine hydraulique.

Ce modèle paraît présenter des avantages sur les types rabotés, sous le rapport de la rapidité d'exécution et de la dureté du métal aux points de frottement, et aussi en ce que, aucune matière n'étant enlevée, la section reste la même (en quantité non en forme) sur toute la longueur.

L'usine Vickers de Sheffield en a fait un grand nombre pour des chemins de fer russes.

Des applications de ce système ont été faites par un certain nombre de lignes anglaises, notamment par le Great Northern, le Manchester and Sheffield, le South Eastern, etc., où il donne de bons résultats.

Le modèle de croisement *d'une seule pièce en acier fondu martelé et raboté* est employé depuis 15 ans environ par la Compagnie de l'Ouest. Un spécimen figurait déjà à l'Exposition de 1867.

A cette date, ces appareils coûtaient environ 600 fr. la tonne, tandis qu'aujourd'hui ils ne sont payés que 450 fr. environ.

Le nombre des pièces de ce modèle en service à la Compagnie de l'Ouest s'élevait à environ 3,300 en 1878.

La Compagnie du Midi emploie également les croisements d'une seule pièce, *en acier fondu*, pour tous les points du réseau où la vitesse des trains est supérieure à 50 kilomètres, et, *en fonte trempée*, pour tous les autres.

Un spécimen de ce dernier type, retiré des voies pour être envoyé à l'Exposition, après huit ans de service, était en bon état de conservation bien qu'il ait supporté le passage de plus de 400,000 trains ou machines de manœuvres.

Ces pièces, coulées en coquille par diverses usines situées sur le réseau du Midi, font un très bon service. La profondeur de la partie trempée est d'environ 10 millimètres.

Depuis 1867, ce genre d'appareil est exclusivement employé sur les points du réseau où la vitesse des trains n'excède pas 50 kilomètres.

Le poids est de 570 kilog.

Et le prix de 196 fr. (soit 345 fr. la tonne).

Le nombre en service, au 31 décembre 1877, était de 2,180.

Plusieurs croisements de même nature, retirés également des voies, étaient exposés dans la Section autrichienne; ils sortaient des ateliers de Ganz à Buda-Pesth.

L'un d'eux était indiqué comme ayant été posé en 1860.

L'emploi, en parties à peu près égales, des deux types (d'une seule pièce et en rails assemblés), semble montrer que là encore, comme pour les deux types de rails (double champignon et Vignole), les avantages et inconvénients s'équilibrent à peu près.

ENCLANCHEMENTS.

Par l'enclanchement réciproque des leviers de signaux et d'aiguilles l'on a pour but d'éviter de donner accès, par inadvertance, en même temps, à plusieurs trains ou machines sur une même voie.

Les différentes dispositions d'enclanchement des signaux et des aiguilles qui ont figuré à l'Exposition de 1878 sont des perfectionnements de ceux qui avaient été présentés à celle de 1867 [1].

Les premiers enclanchements connus ont été employés sur les lignes de Versailles (rive droite) et de Saint-Germain. Le mérite de cette première application revient à M. Vignier, ingénieur de la voie à la Compagnie de l'Ouest. Un spécimen de la disposition employée a figuré à l'Exposition de 1867, et y a obtenu la grande médaille d'honneur.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest qui, au fur et à mesure des besoins, a continué les applications de ces appareils, a exposé en 1878 la disposition d'enclanchements appliquée au poste n° 2 de la gare de Grenelle.

Cette disposition, dont le principe est toujours celui des premiers appareils, a été améliorée dans ses détails, de façon à réduire, dans une notable proportion, l'espace nécessaire pour l'établissement d'un poste important, ce à quoi l'on est arrivé, simplement, en disposant les verrous verticalement, et en les commandant par des arbres horizontaux situés dans un plan parallèle à celui des glissières qu'ils enclanchent.

Cette disposition permet de donner aux arbres toute la longueur nécessaire et de leur faire porter autant de verrous qu'il est nécessaire d'en avoir [2].

Enclanchement Rothmüller. — La maison Rothmüller a exposé, dans la Section autrichienne, un modèle, en petit, de sa disposition d'enclanchements. Le principe est sensiblement le même que celui de la Compagnie de l'Ouest, les leviers mettent en mouvement, les uns des tiges horizontales munies de taquets, et les autres des arbres horizontaux munis de leviers manivelles faisant monter des butoirs devant les taquets des tiges horizontales.

1. Le principe et les dispositions fondamentales ont été décrits, par M. Tardieu, dans une note insérée dans les Mémoires de la Société, n° 3, de 1868.

2. Dans la première disposition en 1867, *les verrous* et les glissières dans lesquelles ils pénétraient étaient situés dans un même plan horizontal, ce qui exigeait une place horizontale relativement grande, et n'eût pas été applicable dans le cas de poste un peu important.

L'appareil Rothmüller comportait également une disposition permettant la manœuvre d'une même transmission par plusieurs leviers, ainsi qu'une application de la manœuvre des aiguilles par des tringles creuses travaillant à la torsion.

La longueur de transmission est, dans ce cas, limitée à 60 mètres.

Une application des enclanchements Rothmüller est faite, à titre d'essai, sur la section de Floridsdorf à Wagram. (Chemin de fer du Nord-Ferdinand d'Autriche).

Enclanchement Saxby et Farmer. — MM. Saxby et Farmer ont exposé, dans la Section anglaise, un spécimen de leur système d'enclanchement des aiguilles et signaux.

La manœuvre à distance des aiguilles, combinée avec la disposition présentée par MM. Saxby et Farmer, est également le perfectionnement de ce qu'ils avaient exposé en 1867.

Dans cette dernière disposition, les enclanchements sont obtenus au moyen de barres horizontales garnies de taquets et de pièces métalliques, en forme de cadres ou grils, mobiles autour d'axes horizontaux perpendiculaires à la direction des barres et situés dans un plan qui leur est parallèle. (fig. 20, pl. 147).

Lorsque les vides des grils sont en face des taquets des tringles, la manœuvre des appareils correspondants est possible, ils sont donc « déclanchés » : lorsqu'au contraire les taquets sont en face des parties pleines, les grils ne peuvent tourner et les appareils correspondants, à la manœuvre desquels ils sont reliés, ne peuvent être mis en mouvement, les appareils sont dans ce cas, « enclanchés ».

Il est à noter que dans la dernière combinaison de MM. Saxby et Farmer, les enclanchements des appareils sont obtenus indépendamment, ou plutôt, *avant*, la manœuvre proprement dite des appareils.

Le garde, en saisissant la poignée de son levier, fait mouvoir un verrou qui commande le mouvement de la *barre* munie de taquets et, par suite, produit l'enclanchement ou le déclanchement avant tout déplacement du levier, avec cette différence importante, toutefois, que les *enclanchements* sont obtenus de cette manière d'une façon suffisante pour empêcher la manœuvre des appareils à enclancher, tandis que pour les *déclanchements*, il faut que la dernière partie du mouvement du levier, caractérisée par l'arrêt du verrou dans le cran correspondant

au fond de course dudit levier de commande, soit entièrement achevée[1].

De cette façon une erreur, par suite d'une manœuvre incomplète, n'est plus à redouter; MM. Saxby et Farmer ont complété leur disposition d'enclanchements de signaux, en usage entre les aiguilleurs et les mécaniciens, par l'addition d'appareils électriques permettant aux agents des postes d'aiguilleurs, non seulemement de communiquer entre eux, mais d'enclancher chacun des signaux commandant les voies qui se dirigent vers leur poste, et cela, en rendant toute opération contradictoire impossible entre les indications des signaux extérieurs et les manœuvres des aiguilles, ce qui réalise la sécurité d'une façon aussi complète que possible par le fait de la combinaison du « *block system* » avec les enclanchements d'aiguilles et de signaux.

MM. Saxby et Farmer présentaient également, dans leur exposition, une application de la *clef Annett*, destinée à assurer la sécurité pour les manœuvres sur les voies de garage extérieures, dont les appareils ne sont pas manœuvrés du poste d'aiguilleur, soit par suite de l'éloignement ou pour toute autre cause.

Le principe de l'appareil est le suivant :

L'aiguillage de la voie principale et celui de la voie déviée sont commandés par un seul levier de manœuvre fixé sur un châssis muni de la « *serrure Annett.* »

La « *serrure Annett* » est également appliquée à l'enclanchement des signaux commandant la voie principale. La serrure est disposée de telle façon que la manœuvre de l'aiguillage ne peut être faite qu'à la condition que la clef soit dans ladite serrure.

D'autre part, cette clef *unique* ne peut être retirée de l'enclanchement des signaux sans que ceux de la voie principale soient mis à l'arrêt. Il en résulte que la voie déviée ne peut être ouverte sans que la voie principale soit protégée par ses signaux.

D'un autre côté, la clef devant être dans la serrure des signaux pour permettre leur ouverture, et cette clef ne pouvant être retirée de la manœuvre des aiguilles sans que ces dernières soient ramenées sur la voie principale, on conçoit que les signaux de la voie principale ne pourront être ramenés à « *voie libre* » sans que l'aiguille soit faite sur la voie principale. Aucune erreur n'est donc possible[2].

1. Voir les dessins et la brochure spéciale aux dossiers de la section.

2. Les Compagnies de l'Est et de l'Ouest ont appliqué, depuis l'Exposition, un certain nombre de « Serrures Annett. »

En résumé, les appareils de MM. Saxby et Farmer paraissent très bien combinés, tant dans leur ensemble que dans leurs détails; ils sont très répandus et très appréciés en Angleterre, où l'on rencontre des postes ayant jusqu'à cent et cent dix leviers, et dont la manœuvre, confiée à *deux hommes* seulement, se fait avec la plus grande régularité.

En France, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a depuis dix ans appliqué un certain nombre de ces appareils et paraît disposée à en étendre l'application d'une façon plus générale [1].

La Compagnie d'Orléans a également quelques postes établis avec les appareils Saxby et Farmer, et les applications ne semblent pas devoir se limiter à ces essais pour les différentes Compagnies françaises.

SIGNAUX.

A. — SYSTÈMES EXPOSÉS PAR DIVERS INVENTEURS.

1° *Signal Delom.* — Ce modèle, dont le mât est en tôle et cornières suivant la section d'un T, avec pattes en fer rivées pour servir d'échelons, n'offre de particulier que sa manœuvre qui est disposée pour obtenir, en même temps qu'une dilatation libre à voie ouverte et fermée, une tension constante du fil, sans autre appareil de compensation que le levier de commande et celui de rappel. On arrive à ce résultat de la façon suivante :

Le levier de commande, établi fou sur son axe, est rendu solidaire avec la roue dentée qui agit sur la chaîne Galles (terminant le fil de transmission) au moyen d'un verrou qui s'engage dans des dents taillées *ad hoc* sur le côté de ladite roue.

A chaque extrémité de la course, le déclanchement du verrou et de la roue est obtenu, automatiquement, par le passage du verrou sur une saillie terminant l'arc fixe; laquelle, en le soulevant, lui fait échapper la dent de la roue.

Une disposition basée absolument sur le même principe [2] a été

1. Les applications faites à la Compagnie P.-L.-M., sont :
A *Moret*, un poste de 12 leviers (1868); à *Villeneuve-Saint-Georges*, un poste de 12 leviers (1872); à *Nîmes*, un poste de 24 leviers (1874), et *Lyon-Guillotière*, 4 postes dont l'un de 40 leviers (1879).

2. Désignée sous le nom de manœuvre Robert.

appliquée à la Compagnie de l'Ouest, vers 1859, et a été abandonnée par suite, surtout, de l'instabilité qui en résulte pour le disque, qui peut être fermé par l'action seule d'un vent un peu fort.

Mât de signal à lanterne basculante. — La maison Baudet a exposé un signal établi par elle, pour la ligne de Saint-Nazaire au Croisic.

Le mât, en fer plat et cornière, n'offre rien de spécial.

La particularité de cet appareil consiste dans le remplacement de la disposition ordinaire, à chaîne, pour le mouvement de la lanterne, par un mouvement à parallélogramme qui ne paraît pas, du reste, présenter d'avantages sérieux, surtout au point de vue de la stabilité de la lanterne qui est plutôt amoindrie.

Mâts de signaux de M. Ollivier. — M. Ollivier a exposé deux systèmes de signaux :

Le poteau du premier, établi en tôle et cornière (fig. 21, pl. 147) et dont l'une des tôles sert de guide au porte-lanterne, n'offre rien de spécial. Une chaîne, fixée au support de manœuvre, facilite le réglage de la transmission; cette disposition, très ancienne, était déjà appliquée à la Compagnie de l'Ouest en 1862. La partie inférieure du poteau fixe du deuxième modèle est formée par une colonne de fonte, et la partie supérieure par un fer *zorès*, dont les deux ailes sont réunies par une tôle servant de guide au porte-lanterne (fig. 22, pl. 147).

La particularité de ce deuxième type consiste dans l'emploi d'un système spécial de compensation du fil de manœuvre, placé sur le mât lui-même et composé d'une moufle avec contrepoids.

L'inventeur ne dit pas que sa disposition ait été essayée.

Signal Flamand. — L'invention de M. Flamand, représentée en dessin à l'Exposition, consiste à remplacer le levier de rappel ordinaire par un contrepoids monté sur le mât du disque.

Une rainure héliçoïdale, établie à l'intérieur du contrepoids et dans laquelle s'engage un ergot fixe faisant corps avec le mât, permet d'obtenir, par le mouvement vertical du contrepoids, un mouvement de rotation du mât du disque.

En terminant la rainure héliçoïdale intérieure par une partie droite, on rend les effets de dilatation et de contraction du fil sans action sur le mouvement du disque; seulement, cette disposition conduit à une assez grande amplitude du mouvement de commande. M. Flamand

propose une disposition particulière, pour l'obtenir sans augmentation de la course du levier (fig. 23, pl. 147).

Cet appareil, ingénieusement combiné, n'a pas été essayé, à notre connaissance, et ne semble pas, du reste, présenter de simplification essentiellement pratique, contrairement au dire de l'inventeur.

Signal exposé par M. Bonnefond. — M. Bonnefond (Compagnie française du matériel de chemin de fer) a exposé un type de signal avec base en fonte et mât en fer et cornières, d'une construction assez économique, et qui se rapproche beaucoup du type employé à la Compagnie de l'Ouest dont il est question plus loin; il n'en diffère que par des détails secondaires étudiés dans le but d'en diminuer le prix.

SYSTÈMES DITS AUTOMATIQUES.

1° *Disque Pignel.* — Cet appareil était représenté, à l'Exposition, par un petit modèle.

En dehors de la manœuvre automatique, il se distingue des types ordinaires en ce que le voyant circulaire (peint en rouge du côté de l'arrivée des trains) est fixe.

Le voyant rouge au lieu de s'effacer « par rapport à la direction de la voie, » se masque par un écran carré peint en blanc, soutenu dans cette position par un petit verrou mobile placé à la partie inférieure.

La « *voie libre* » est indiquée, *le jour*, par la forme carrée et la couleur blanche du voyant mobile, et, *la nuit*, par un feu blanc obtenu de la manière suivante :

En face du centre du verre rouge, dépoli sur une petite surface[1], le voyant carré est percé d'une petite ouverture derrière laquelle est adapté un tronc de cône muni à sa grande base d'un verre lenticulaire permettant d'obtenir un beau feu *blanc* du côté de l'arrivée des trains.

Lorsque la voie est fermée, le voyant carré est abaissé, et le feu qui traverse le voyant fixe est rouge.

Le but de la disposition automatique est d'obtenir que chaque train se couvre lui-même, par le fait de son passage devant le disque ouvert, ce que l'on obtient, aisément, par la pression du bandage de la pre-

1. Surface elliptique de $20^{mm} \times 30^{mm}$ environ.

mière roue du train sur une petite pédale qui, par son abaissement, fait tourner le verrou qui soutient le voyant carré, à sa partie inférieure, ainsi que cela a été dit ci-dessus.

Signal automatique Moreau. — Ce signal figurait également à l'Exposition sous forme de petit modèle.

Le but que s'est proposé M. Moreau est, comme dans le cas précédent, d'obtenir, automatiquement, qu'un train se couvre lui-même. On arrive à ce résultat également par la pression de la première roue du train sur une pédale intérieure à la voie; seulement, ici, le disque est du type ordinaire à mouvement tournant autour d'un axe vertical [1].

Lorsque le disque a fonctionné par l'action automatique du passage du train, une sonnerie trembleuse, située près du levier de commande, fonctionne jusqu'à ce que le garde ait abaissé ledit levier dans la position correspondante au disque *fermé*.

Un certain nombre d'appareils de chacun de ces types [2] ont été essayés à la Compagnie des chemins de fer du Nord français, mais l'application n'en a pas été étendue par suite de la fausse sécurité que l'on a, paraît-il, reconnu résulter de l'application de l'automaticité à la manœuvre des disques.

De plus, le premier appareil (Pignel) a l'inconvénient de toujours présenter un écran plein perpendiculaire à la marche des trains, ce qui, surtout par des temps brumeux, peut être cause d'indécision et, par suite, d'accidents.

SIGNAUX EXPOSÉS ET EMPLOYÉS PAR LES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

I. — Signaux a distance.

1° *Compagnie de l'Ouest.* — Le type, dont un spécimen était exposé par la Compagnie de l'Ouest, est appliqué depuis douze ans. Le poteau qui sert de guide à la lanterne est composé de deux fers en U réunis entre eux par des entretoises en fer et fixés à la partie inférieure sur une cloche en fonte servant de fondation.

1. Voir *Annales des Mines*, 4e livraison, de 1878.
2. (Pignel et Moreau).

La commande de la manœuvre d'un type nouveau (fig. 24, pl. 147) se compose d'une sorte de grande poulie à gorge ayant un développement de 270°, et terminée, de chaque côté, par un levier, l'un à poignée servant à la manœuvre, l'autre à contrepoids.

La transmission est à compensation système « *Robert.* »

2° *Compagnie du Midi.* — Les deux signaux exposés par la Compagnie du Midi sont à poteau entièrement en fonte (colonne creuse); les voyants sont percés pour diminuer la résistance opposée au mouvement par les grands vents qui règnent sur certaines parties du réseau.

Ces deux spécimens étaient exposés surtout pour montrer le fonctionnement de l'appareil de conjugaison des manœuvres de deux disques d'entrée d'une station en voie unique, dont le but est d'empêcher que les deux disques puissent être ouverts en même temps, par inadvertance; on arrive à ce résultat par un enclanchement réciproque des deux manœuvres, disposé de telle sorte que l'une des deux manœuvres ne peut fonctionner que si l'autre est fermée [1].

Toutes les stations en voie unique du réseau du Midi sont pourvues d'un appareil de conjugaison semblable à celui qui était exposé; les résultats obtenus, au point de vue de la sécurité, sont très satisfaisants.

Le poids total de l'appareil de conjugaison est d'environ 400 kilogrammes, et le prix de 230 francs.

3° *Compagnie d'Orléans.* — Le spécimen de signal exposé par la Compagnie d'Orléans, du dernier type adopté, était établi en tôle et cornière, suivant une section en T; des échelons en fer, rivés au poteau, servent d'échelle pour monter à la partie supérieure.

Le poteau fixé sur une fondation en vieux rails, dont le prix est d'environ 60 francs, donne des résultats satisfaisants, tant comme économie d'établissement que comme durée.

Le montant en tôle pèse environ 230 kilogrammes pour une hauteur de 6 mètres. Le poids total du mât signal avec sa fondation est de 595 kilogrammes, et son prix de 315 francs.

La Compagnie a en service des mâts de ce type d'une hauteur de 10 mètres.

1. Le disque et l'appareil de conjugaison étaient complétés par les commutateurs existant en service courant.

La même Compagnie a exposé son système de manœuvre de disque pour grandes distances (1 500 à 3 000 mètres).

Dans ce système, le fil de commande est double, il est remplacé aux deux extrémités sur une certaine longueur par des portions de chaîne (fig. 25, pl. 148); celle du côté de la poulie du levier de commande est fixée sur la poulie dudit levier, et l'autre s'enroule librement sur la poulie du mât.

Le fonctionnement repose sur ce fait : que l'effort nécessaire pour faire avancer la chaîne sur la poulie du mât est beaucoup plus grand que celui qui est nécessaire pour faire tourner la poulie elle-même et par suite le disque.

Les phases du fonctionnement sont les suivantes :

1° Tension du fil;

2° Rotation du mât;

3° Glissement de la chaîne sur la poulie jusqu'à l'extrémité de la course.

La course du levier de commande doit donc être plus grande que le développement nécessaire à la rotation complète du disque et à la tension du plus grand *flâche* possible du fil.

Cet appareil fonctionne (dit la Compagnie d'Orléans) d'une manière satisfaisante, depuis 1865, pour des commandes de 1 500 à 3 000 mètres[1].

La Compagnie d'Orléans complète ses signaux à vue par l'addition de signaux détonants ou pétards, en usage depuis 1868, qui viennent se placer sur le rail et éclatent sous la pression des roues. Le fonctionnement de cette disposition a toujours été satisfaisant.

4° *Compagnie de l'Est. — Manœuvre des signaux à distance.* — Un spécimen de cette disposition était exposé par le constructeur (Société de Maubeuge), surtout comme type d'exécution.

Elle est étudiée pour obtenir :

1° A « *voie libre* », une libre dilatation du fil sans autre appareil de tension que le contrepoids de la manœuvre en même temps qu'une complète stabilité du disque tenu en équilibre par l'action du contrepoids moteur;

1. On remarquera que si le fil vient à se rompre pendant que la voie est ouverte, le disque n'est pas ramené à l'arrêt, ce qui est en général considéré comme un défaut grave.

2° A *voie fermée*, le disque est tenu en équilibre par l'action du levier de rappel placé près de lui; dans cette position, l'action du contrepoids moteur est annulée par le fait de l'arrêt de la chaîne dans une gorge du cylindre servant de base, et établie en forme de pince-maille.

La fig. 26, pl. 148, donne une vue d'ensemble de cette manœuvre.

On remarquera que, dans le cas de rupture du fil pendant que la voie est ouverte, le disque est ramené à l'arrêt par l'action du levier de rappel.

Une condition essentielle, pour le bon fonctionnement, est que le tube soit d'une longueur suffisante pour permettre une course du contrepoids égale à la course du levier de rappel, plus la plus longue dilatation possible du fil.

Pour les transmissions de 1 500 à 1 800 mètres, la course laissée libre pour le contrepoids moteur est de $0^{m},800$ environ.

Cette disposition donne de très bons résultats à la Compagnie de l'Est, où elle est appliquée depuis très longtemps.

SÉMAPHORES.

1° *Compagnie P.-L.-M.* — La Compagnie de P.-L.-M. a exposé un spécimen de sémaphore à six ailes avec enclanchements, dont le but est de remplacer deux ou trois sémaphores ordinaires de bifurcation et les petits signaux usités dans cette Compagnie, pour mettre en communication certains postes d'aiguilleurs avec l'agent de la manœuvre du sémaphore.

Le poteau est formé par une colonne en fonte.

Les ailes sont manœuvrées du bas au moyen de tringles verticales et de leviers à manette (fig. 27-28, pl. 148); elles sont éclairées deux à deux par trois lanternes à deux feux.

Le sémaphore est complété par des balanciers d'enclanchement manœuvrés à distance par un fil de transmission et qui, suivant qu'ils sont verticaux ou inclinés, empêchent ou permettent le fonctionnement des leviers commandant les tringles communiquant le mouvement aux ailes (fig. 27 et 28, pl. 148).

Il est bien évident que le sémaphore peut être manœuvré à distance, il suffirait de relier les leviers de manœuvre (fig. 27 et 28, pl. 148) à ladite commande soit par des tringles, soit par des fils.

Une sonnerie électrique, du même genre que celle employée pour les manœuvres de signaux à distance, donne à l'agent chargé de la manœuvre des enclanchements, l'assurance qu'ils sont bien faits.

La même Compagnie emploie également des sémaphores à quatre ailes,

Ce genre de signaux, encore peu usité en France, est très répandu en Angleterre, où il donne toute satisfaction avec un personnel qui en a l'habitude.

Poids total d'un appareil à six ailes type P.-L.-M. : 2,345 kilogr. environ, prix : 1,275 fr.

2° *Sémaphores Rothmüller.* — M. Rothmüller a exposé, dans la Section autrichienne, deux modèles de signaux sémaphoriques.

Le premier type diffère de ceux généralement usités en France, en ce que la lanterne destinée aux indications de nuit est complètement en dehors des ailes des sémaphores, et ramenée à environ la moitié de la hauteur du mât, dans le but d'en faciliter l'accès et l'entretien ainsi que celui des écrans de couleurs.

Le jour, les signaux sont indiqués par les ailes des sémaphores (peintes, moitié en rouge moitié en blanc, du côté de l'arrivée des trains, et, en blanc, du côté opposé) suivant les trois positions :

1° Inclinées à 45° en haut (voie libre) ;
2° Horizontales (voie fermée) ;
3° Inclinées à 45° en bas (ralentissement).

La nuit, ces ailes non éclairées disparaissent et les signaux sont faits au moyen de la lanterne seule devant laquelle vient se placer, suivant le cas, un verre *blanc*, *rouge* ou *vert* faisant partie d'un même écran dont la manœuvre est dépendante de celle des ailes [1].

Le principe du deuxième système est d'*obtenir la nuit les mêmes signaux optiques que le jour* [2].

1. Le principe du sémaphore, proposé par M. Rothmüller, n'est pas nouveau. Il a été appliqué par les Anglais à peu près au début des chemins de fer.

2. En 1867, M. Bender a exposé dans la section autrichienne un signal d'aiguille basé sur le même principe (voir Goschler, tome II°, page 46).

A cet effet, les ailes du sémaphore en forme de prisme quadrangulaire tronqué, très allongé, sont composées de lames inclinées peintes du côté de la marche des trains moitié en rouge, moitié en blanc, et entièrement en blanc du côté opposé.

Le jour, les signaux sont donnés par les trois positions inclinées des ailes comme pour le premier type :

1° Inclinées à 45° en haut (voie libre);
2° Horizontales (voie fermée);
3° Inclinées à 45° en bas (ralentissement).

La nuit, chaque aile est éclairée, dans ces trois positions, par une lanterne spéciale à trois réflecteurs, dont les axes coïncident avec celui de l'aile dans toutes ses positions ; l'aile ainsi éclairée se distingue la nuit de la même manière que le jour.

La lumière très intense, paraît-il, près de la lanterne, va en décroissant vers l'extrémité, ce qui donne à l'aile l'apparence d'une sorte de comète rouge et blanche très visible, dit l'inventeur.

Une application de ce système a été faite à la gare de Vienne.

Électro-sémaphores du Nord. — La Compagnie des chemins de fer du Nord français a exposé un système d'électro-sémaphores dû à MM. Lartigue, Tesse et Prud'homme et appliqués sur la ligne de Paris à Saint-Denis et à Creil.

Ces appareils ayant été décrits très complètement dans plusieurs publications[1], nous nous contenterons de rappeler, ici, pour mémoire, leur but et le principe fondamental de leur fonctionnement.

Le but que les inventeurs se sont proposé est d'assurer la sécurité complète de l'Exploitation en divisant la ligne en sections commandées à chaque extrémité par des sémaphores permettant de substituer la «distance» au «temps» pour assurer la sécurité sur les lignes à double voie et d'interdire, d'une façon absolue, la circulation simultanée de deux trains marchant sur une même section en *voie unique* (mode d'exploitation très répandu en Angleterre où il est désigné sous le nom de «Block system».

Les principes du fonctionnement dans les deux cas sont les suivants :

1. Voir : 1° *Annales des ponts et chaussées*, 2° semestre 1877. Note de M. Clérault, pages 197 et suivantes, et note de M. Sartiaux, pages 329 et suivantes ; 2° *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, bulletin d'avril et mars 1877. Note de M. Lartigue.

1° *Double voie.* — Lors du départ d'un train du premier poste A vers B, l'agent, en mettant à l'arrêt la grande aile de son mât qui commande la voie dans ce sens, envoie un courant électrique, qui fait apparaître un petit *voyant* au poste B (ce voyant n'a de valeur que pour l'agent du poste), l'agent du poste A en reçoit aussitôt, automatiquement, l'accusé de réception par l'apparition sur sa boîte de manœuvre du mot «annoncé» et un coup de timbre; son rôle est fini.

L'agent du poste B est ainsi prévenu de l'arrivée du train dans le sens A vers B.

Lorsque le train passe en B il couvre son train (comme l'a fait l'agent du poste A) en l'annonçant à C, puis, en effaçant son *voyant*, il envoie un courant vers le poste A, dont l'effet est d'effacer la grande aile de ce poste, et par suite de débloquer la section AB, il en reçoit, automatiquement, l'accusé de réception comme ci-dessus par l'apparition de l'inscription «voie libre» et un coup de timbre, puis devient passif à son tour et ainsi de suite.

2° *Voie unique.* — Dans ce cas, les sémaphores ne diffèrent des précédents, comme aspect extérieur, qu'en ce que les bras inférieurs sont de même dimension que les bras supérieurs et qu'ils s'adressent comme ceux-ci aux mécaniciens.

A l'état normal, les bras supérieurs de chaque sémaphore sont horizontaux, ce qui, par le fait, bloque toutes les sections dans les deux sens; l'agent d'un poste ne peut pas débloquer lui-même sa section.

Le fonctionnement est le suivant : lorsqu'un train parti de x, par exemple, se présente pour passer en A dans le sens AB, l'agent du poste A envoie vers B un courant qui a pour effet de déclancher le bras inférieur du sémaphore *du côté qui commande la voie dans le sens de* B *vers* A[1].

Les résultats produits sont :

1° Confirmation en B, pour tous les trains se dirigeant de B vers A, de la *fermeture absolue* de la section C;

2° Clavetage du bras supérieur correspondant;

3° Envoi en A d'un courant électrique qui déclanche le bras supérieur commandant la voie dans le sens A vers B, et ouvre ainsi la voie au mécanicien.

1. Ce bras prend alors la position horizontale sous l'action d'un contrepoids.

Une fois le train passé au poste A, l'agent remet ce bras supérieur à l'arrêt et, par suite, envoie à B l'annonce du départ du train de A vers B et cela par l'apparition sur le sémaphore B de l'inscription « train expédié » accompagnée d'un coup de timbre.

Le train parcourt donc, en toute sécurité, la section AB, fermée au poste B, qui l'attend, et au poste A, qui ne peut l'ouvrir que par une manœuvre de B.

Lorsque le train se présente en B, ce poste fait la même manœuvre que A pour l'annoncer à C et ouvrir la voie, puis il réenclanche, c'est-à-dire abaisse le bras inférieur qui commande la voie de B vers A, ce qui a pour conséquence de déclaveter le bras supérieur et d'annoncer à A l'arrivée du train en B par l'apparition sur le sémaphore A de l'inscription « train arrivé » accompagnée d'un coup de timbre.

On voit que, en voie unique :

1° Un signal à vue ne peut être effacé à l'extrémité d'une section sans que, au préalable, la voie soit fermée pour la marche en sens inverse à l'autre extrémité ;

2° Pendant qu'un train circule entre deux postes d'une section, le poste de départ ne peut faire aucune manœuvre avant d'être avisé par le poste suivant (sens de la marche) que le train est sorti de la section.

Ces manœuvres se font, dans tous les cas, en quelques secondes et sans aucun retard pour la marche des trains.

Les appareils pour double voie étaient exposés par la Compagnie du Nord et ceux pour voie unique par le constructeur M. Mors, successeur de M. Prud'homme.

Les essais faits à la Compagnie du Nord, sur les lignes à double voie de Saint-Denis à Creil, ont donné satisfaction, et l'application de ces appareils doit être étendue.

Un certain nombre de ces appareils ont été appliqués à la Compagnie d'Orléans entre Vitry et Brétigny.

Le prix d'un poste extrême complet est de 1,600 francs environ, celui d'un poste intermédiaire 2,400 francs (droit de brevet non compris).

La dépense kilométrique varie selon la répartition des postes : avec des sections de 4 kilomètres, en moyenne, elle est de 1,000 fr. environ, par kilomètre.

SIGNAUX D'ARRÊT ABSOLU.

1° *Compagnie de l'Ouest.* — Le signal d'*arrêt absolu* exposé par cette Compagnie ne diffère de son signal à *distance* que par les points suivants :

1° Le voyant est carré ;

2° La lanterne est disposée de façon à donner *deux feux horizontaux.* (*On arrive à ce résultat avec une seule lampe, placée au centre, et un double réflecteur parabolique qui projette la lumière sur deux miroirs, inclinés à 45°, et placés de façon à correspondre aux deux verres de la lanterne*) (fig. 31 et 32, pl. 148) ;

3° La manœuvre est à simple levier (ce qui est suffisant par suite de la faible distance entre le disque et sa commande) ;

4° Le levier de rappel, pour la même raison, est remplacé par un simple contrepoids placé à l'intérieur du poteau (fig. 32 *bis* et *ter*, pl. 148);

5° Enfin, le signal à vue est complété par l'addition de pétards qui viennent se placer sur le rail lorsque le disque est fermé (comme pour le signal à distance P. O.).

2° *Compagnie P.-L.-M.* — Le signal d'*arrêt absolu* de la Compagnie de P.-L.-M. est également à voyant carré, seulement le côté commandant l'arrêt est moitié rouge moitié blanc, suivant la forme d'un damier ; ses dispositions diffèrent du précédent, en ce que :

1° Le poteau est en fonte (sensiblement pareil à celui de la Compagnie du Midi) ;

2° Les deux feux sont obtenus, avec la lanterne des signaux ordinaires à distance, à l'aide d'un jeu de miroirs extérieurs inclinés à 45° ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les fig. 33 et 34, pl. 148.

Le signal est complété par un écran circulaire A dans lequel peut se déplacer une glace bleue B, qui reçoit la lumière déviée par un miroir placé derrière la lanterne, et permettant de diriger un feu bleu vers la gare lorsque le disque est à l'arrêt.

Ce signal ne diffère du signal à distance de la même Compagnie que par la forme carrée du voyant et par l'addition des miroirs.

SIGNAUX ÉLECTRIQUES

1° *Système Langie.* — La Société des chemins de fer de l'État Autrichien a exposé un signal à distance, dont la commande est faite par l'électricité et qui est dû à M. Langie, ingénieur contrôleur des Télégraphes de ladite Société.

Le principe du fonctionnement est le suivant :

Au moyen d'un courant électrique, on détermine, à distance, le déclanchement d'un arbre faisant corps avec un tambour sur lequel est enroulée une corde, munie, à son extrémité libre, d'un fort contrepoids qui a pour effet de produire la rotation du tambour; dans son mouvement, ce dernier entraîne une poulie à gorge dans laquelle se trouve creusée une rainure, disposée suivant une hélice dont la direction est inversée à chaque 1/8 de la circonférence, dans cette rainure vient s'engager une sorte de petite manivelle faisant corps avec le mât du disque (fig. 35, pl. 148); il en résulte que le mouvement de la poulie (perpendiculaire à la direction du mât) détermine la rotation de ce dernier.

Le développement du 1/8 de l'arc extérieur de la gorge de la poulie correspondant à la course nécessaire pour ouvrir ou fermer le disque, il en résulte que, en raison du changement de direction à chaque 1/8 de course (qui permet de transformer le mouvement continu du tambour en mouvement alternatif pour l'arbre), un tour de tambour correspond à quatre manœuvres du disque.

La poulie est rendue solidaire du tambour au moyen d'un rochet à cliquet, permettant de remonter le tambour, une fois la corde entièrement déroulée, sans entraîner la poulie, et, par suite, sans faire fonctionner le disque.

Des dispositions mécaniques ingénieuses permettent d'obtenir :

1° L'arrêt automatique de la rotation du tambour après chaque 1/8 de tour (correspondant à la manœuvre complète du disque);

2° La fixité du disque qui, une fois à fond de course dans les deux sens, ne peut être mis en mouvement par l'action du vent ni par la main de l'homme;

3° La rotation uniforme du tambour, et, par suite, du disque, même par les plus grands vents ;

4° Enfin, le fonctionnement d'une sonnerie trembleuse, pendant tout le temps que l'appareil est à l'arrêt, ce qui indique à l'agent chargé de la manœuvre que le signal a bien fonctionné.

En dehors de la question de complication, qui paraît bien grande pour un signal, on peut remarquer que rien ne forçant le disque à se mettre à l'arrêt, si le fil de communication vient à être mis hors de service pour une cause quelconque, il peut résulter de ce fait des inconvénients, surtout si le disque est loin du point de manœuvre, car l'agent est bien prévenu d'un dérangement dans l'appareil par le non-fonctionnement de la sonnerie, mais comme il ne le constate qu'au moment où la manœuvre doit être faite, il peut être trop tard.

40 de ces appareils étaient employés en 1878 sur le réseau de l'État Autrichien et 78 sur d'autres lignes du même pays.

2° *Système Banovits.* — Le chemin de fer de l'État Hongrois a exposé un signal basé sur le même principe que le précédent et dû à M. Banovits, inspecteur des chemins de fer et de la navigation à l'inspection royale hongroise.

Le moteur est encore un contrepoids dont les intermittences de repos et de mouvement sont obtenues, à distance, par l'électricité. Si le principe est le même, les moyens de détail pour arriver au résultat sont différents.

Nous signalerons :

1° La transmission du mouvement de rotation du tambour à l'arbre, obtenue, par l'intermédiaire d'engrenages coniques, suivant la disposition assez simple de la fig. 36, pl. 148, qui permet de transformer le mouvement continu du moteur en mouvement alternatif pour le signal;

2° Le système de déclanchement établi de façon à éviter les dérangements qui peuvent résulter, pour un courant simple, des perturbations atmosphériques par exemple.

Il est combiné de telle façon qu'il est nécessaire, pour le fonctionnement du disque, de faire passer dans les bobines de l'électro-aimant, qui commande le mouvement mécanique, autant de courants alternatifs, de sens contraire, qu'il y a de dents à l'appareil d'enclanchement d'un système à ancre, ce que l'on n'obtient que par un tour complet de manivelle;

3° La vitesse de rotation du disque qui, dans le signal précédent, est

réglée par les ailettes d'une sorte de moulin à vent, l'est, dans le signal Banovits, par un frein à segments en bois qui fonctionne sous l'action de la force centrifuge;

4° Enfin, une disposition spéciale détermine, automatiquement, la mise à l'arrêt du disque, lorsque le contrepoids moteur est à fin de course.

Comme dans le cas précédent, une sonnerie trembleuse fonctionne pendant tout le temps que le signal est à l'arrêt.

En résumé, ces appareils sont très ingénieusement combinés, mais leur complication paraît un peu grande pour des signaux.

3° *Signal de M. Schaffer.* — M. Schaffer, constructeur d'instruments télégraphiques, à Vienne, a exposé également deux spécimens de signaux électriques dont le principe est sensiblement le même que les deux précédents et qui ne lui cèdent en rien au point de vue de la complication [1].

Ces différents spécimens montrent qu'il y a, en Autriche-Hongrie, une tendance générale à appliquer l'électricité à la commande de la manœuvre des signaux à distance; d'autre part, on y trouve également très répandu l'usage des sonneries électriques à cloches dont le but est d'annoncer, sur toute l'étendue d'une section, au moyen de coups perceptibles à grande distance, le mouvement des trains entre deux stations, l'imminence d'un danger ou le besoin de secours.

La Société I.-R.-P. des chemins de fer de l'État Autrichien a exposé le spécimen d'une installation permettant d'utiliser la ligne, pendant les intermittences de sonneries, pour la correspondance ordinaire; ce à quoi on arrive en affaiblissant le courant, par l'adjonction au manipulateur d'une résistance artificielle, permettant de faire fonctionner l'appareil Morse sans mettre en mouvement les sonneries électriques.

En France, en dehors de l'application faite par la Compagnie du Nord de l'électricité pour l'enclanchement des ailes de sémaphores et sur le même réseau ainsi qu'à la Compagnie P.-L.-M., des sonneries dites allemandes [2], l'emploi de l'électricité, pour ces genres d'appareils, ne paraît pas avoir, jusqu'ici, été aussi recherché.

1. Néanmoins il existe un assez grand nombre d'applications de ce système sur les lignes Autrichiennes et Hongroises.

2. Et sur certaines parties du réseau de l'Ouest, les indicateurs électriques Régnault.

PETITS SIGNAUX DIVERS.

1° *Signaux de communication de poste à poste.*

a. — *Compagnie de l'Ouest.* — Le but que l'on se propose par l'emploi de ces petits signaux, qui étaient exposés par la Compagnie de l'Ouest, est de mettre, dans certaines grandes gares, les différents postes d'aiguilleurs en correspondance entre eux.

Le jour, leur forme triangulaire, et, la nuit, leur feu blanc, les distinguent des autres signaux. Les pièces de la manœuvre et de la transmission sont les mêmes que pour les signaux d'arrêt absolu employés à la même Compagnie.

Chaque mouvement du disque est annoncé à l'aiguilleur par le tintement d'une sonnette fixée au voyant.

b. — La Compagnie P.-L.-M. emploie également de petits signaux pour le même usage, le bâti, en fer plat, reposant sur un châssis en bois, n'offre rien de particulier.

Ce signal est manœuvré par une transmission à distance et ramené dans sa position normale par un levier de rappel à contrepoids.

Comme celui de l'Ouest, il est muni d'une sonnette d'avertissement.

La manœuvre du dernier modèle, appliquée à ces signaux et à toutes les transmissions de plus de 300 mètres, est indiquée fig. 26 *bis*, pl. 148.

Ce genre de signaux est également usité à la Compagnie du Nord où ils sont désignés sous le nom de signaux de correspondance.

2° *Signaux d'aiguilles.* (Exposés par la Compagnie P.-L.-M.).— Le bâti est en tout point semblable à celui du petit signal de gare.

Il y a lieu de remarquer que la manivelle de manœuvre, reliée à la tringle fixée sur l'aiguille, n'est pas calée sur l'arbre lui-même, mais bien sur une douille à laquelle elle est réunie par une sorte de secteur permettant de faire varier l'inclinaison du voyant et de la lanterne, dans le but de toujours diriger le faisceau lumineux dans l'axe de la voie, à la distance voulue, pour le cas d'une voie en courbe.

Le but de ce signal est d'indiquer, aux mécaniciens, la position de l'aiguillage.

Nous avons trouvé dans les sections étrangères un ou deux spécimens de petits signaux destinés au même usage et ne présentant rien de bien spécial.

Tableau indiquant les prix et les poids de quelques-uns des signaux ci-dessus décrits.

DESIGNATION DES SIGNAUX.	POIDS.	PRIX.	OBSERVATIONS.
	k.	fr.	
Mât signal, système Delom, avec disque et mouvement de rappel, sans appareil de manœuvre.	510 »	400 00	
Mât signal, système Delom, avec disque, mouvement de rappel et appareil de manœuvre..	»	700 00	
Mât signal, système Baudet, avec mouvement de bascule pour élever la lanterne.	350 »	275 00	
Mât signal, système Ollivier, avec appareil de manœuvre sans compensateur............	280 »	250 00	
Mât signal, système Ollivier, avec appareil de manœuvre et compensateur.............	350 »	320 00	
Signal Flamand........................	»	»	
Disque automatique Pignel................	»	»	
Signal à distance monté avec appareil de tension et manœuvre équilibrée.	480 »	240 00	
Signal d'arrêt absolu avec lanterne à deux feux[1].	550 »	268 00	
Signal triangulaire pour communication de poste à poste (Ouest)......................	30	56 00	
Appareil de conjugaison de deux disques d'entrée d'une station en voie unique, empêchant les deux disques d'être ouverts en même temps..	400 »	230 00	
Signal carré d'arrêt absolu, modèle P.-L.-M...	551,840	296 53	
Mât de signal de gare avec mouvement de manœuvre n° 2, et mouvement de rappel......	835,200	344 18	Signal.... 237,60 Manœuvre. 84,66 Rappel... 21,92
Signal d'aiguille P.-L.-M.	115 »	89 70	
Petit signal de gare avec mouvement de rappel.	167,420	114 40	
Sémaphore à 6 ailes, modèle P.-L.-M., sans appareils de raccordement................	1885,900	999 53	
Sémaphore à 6 ailes, modèle P.-L.-M., avec appareils de raccordement...............	2345,900	1275 53	
Sémaphore à 4 ailes, modèle P.-L.-M., sans appareils de raccordement.................	1700,000	924 30	
Sémaphore, modèle P.-L.-M. de 9m,000....	1170,000	620 10	
Sémaphore, modèle P.-L.-M. de 7m,000....	1000,000	530 00	

APPAREILS INDICATEURS DE LA VITESSE DES TRAINS.

Divers appareils destinés à contrôler la vitesse des trains ont été exposés ; pour rester dans notre cadre, nous dirons seulement quelques mots des deux suivants, dus au major Le Boulengé, et qui seuls peuvent être considérés comme rentrant dans le matériel de la voie.

1. Compagnie de l'Ouest.

1° *Dromoscope.* — Cet appareil permet aux mécaniciens de se rendre compte, en passant devant, de la vitesse de leur train, et cela, par la simple inspection de la position d'un index qui se détache en blanc sur le fond noir d'un cadran.

On obtient l'indication de la vitesse, sur le cadran, de la façon suivante :

Un disque vertical, parfaitement équilibré, et portant l'index est sollicité à tourner, par un poids moteur; à l'état de repos de l'appareil, il en est empêché par la butée d'un petit arrêt contre un levier qui, au moyen d'un fil de fer, est mis en relation avec un déclic établi contre le rail à 150 mètres de l'appareil.

La pression produite sur ledit déclic, par la première roue du train, a pour effet de faire basculer le petit levier contre lequel bute l'arrêt du disque de l'appareil indicateur; ce disque se met dès lors instantanément en mouvement.

A 50 mètres plus loin, la première roue du train touche un second déclic qui, toujours par l'intermédiaire d'un fil, déclanche un autre levier de l'appareil indicateur, et le résultat produit est l'arrêt instantané du disque à index.

L'arc parcouru par ledit index, pendant l'intervalle de temps que le train a mis à franchir les 50 mètres compris entre les deux déclics, est donc proportionnel à la vitesse du train, qu'il permet dès lors de mesurer.

Les dimensions et dispositions des appareils Le Boulengé sont telles que l'index met six secondes pour faire un tour complet du cadran ; si ce tour est fait exactement pendant le temps que met le train pour franchir les 50 mètres entre les deux déclics, la vitesse de ce dernier sera de $\frac{50}{6} \times 600 = 30$ kilomètres à l'heure.

Les positions intermédiaires de l'index correspondront à des vitesses d'autant plus grandes que l'arc parcouru sera plus petit.

Le mécanicien peut donc, au passage, se rendre un compte pratiquement assez exact de la vitesse de son train[1]; cette vitesse est, d'autre part, relevée très exactement, sur la division du cadran à laquelle cor-

1. Les indications du cadran peuvent être lues, d'après l'inventeur, à 100 mètres de distance.

respond l'index, par l'agent de la voie qui, après le passage du train, vient réenclancher à nouveau l'appareil[1].

La nuit, le cadran est éclairé par une lanterne.

Une disposition simple permet de contrôler, automatiquement, la grandeur de l'angle parcouru par l'index, afin de servir de vérification au relevé fait par l'agent de la voie.

Un certain nombre de ces appareils sont en service en Belgique sur les chemins de fer de l'État et du Grand-Central, où ils fonctionnent régulièrement. La Compagnie de l'Ouest en a placé un sur ses lignes à titre d'essai et en a été satisfaite.

Le deuxième appareil est désigné par l'inventeur, sous le nom de : *Dromo-pétard*.

Son fonctionnement est le suivant :

Un lourd pendule en fer, battant la seconde, est maintenu, à l'état de repos, enclanché, à une des extrémités de sa course, par un levier dont l'un des bouts vient assez près du rail et un peu au-dessus de son niveau.

La première roue du train en faisant pression sur ledit levier le fait osciller et par suite déclanche le pendule, lequel, arrivé à l'autre extrémité de sa course, vient déclancher une petite pièce en fer qui, au repos, maintient un pétard sur le rail, lequel en est écarté aussitôt la pièce déclanchée.

La distance, suivant le rail, entre le premier levier et le pétard est, dans chaque cas, égale à celle que doit parcourir le train, à la vitesse réglementaire, en une seconde.

Il résulte de ces dispositions que si la vitesse du train est telle que la première roue arrive sur le pétard avant que le pendule soit à fond de course, c'est-à-dire moins d'une seconde après le passage au droit du premier levier, elle écrase le pétard et par suite le mécanicien est prévenu que la vitesse de son train est trop grande.

Cet appareil fonctionne également sur les lignes belges de l'État et du Grand-Central.

La différence entre les résultats obtenus avec ces deux appareils est que le premier indique la vitesse du train, tandis que le second, plus simple il est vrai, indique seulement si la vitesse du train est inférieure ou supérieure à celle fixée par le règlement.

1. Le réenclanchement de l'appareil après chaque fonctionnement nécessitant la présence d'un agent, il y a là un inconvénient pour le cas d'emploi en pleine voie, loin de tout poste.

PONTS ET PLAQUES TOURNANTES.

Ponts. — La Compagnie de l'Ouest a exposé un pont tournant de 14 mètres de diamètre, du type adopté par elle depuis une dizaine d'années pour remplacer les plaques tournantes de 12 mètres de diamètre pour machines et tenders.

La particularité saillante de l'appareil exposé était la disposition récemment appliquée par la Compagnie de l'Ouest pour le montage de ce type de pont *sans fondations en maçonnerie.*

Le support du pivot, boulonné sur un plateau en fonte, repose directement sur une couche de ballast, ainsi que les pièces en fonte dites *de culées*, sur lesquelles sont fixées les extrémités des voies aboutissant à l'appareil; le cuvelage, formé par des segments en fonte reliés entre eux ainsi qu'aux pièces de culées, repose également sur une couche de ballast.

La charge maxima sur le ballast, en supposant une des plus lourdes machines de la Compagnie et son tender placés sur le pont, est de $1^{k},100$ environ par centimètre carré.

Cette disposition offre sur les fondations en maçonnerie, usitées jusqu'ici, l'avantage d'être plus simple, et moins coûteuse de premier établissement et aussi plus simple, tant pour l'entretien que pour le déplacement de l'appareil, dans le cas de modification des dispositions de la gare ou pour tout autre motif.

Le pont proprement dit pèse environ 25 tonnes, soit, à raison de 0 fr. 50 le kilogramme, compris la mise en place, 12,500 francs.

Le cuvelage pèse 18 t. 5; le dernier prix payé a été de 0 fr. 26, soit 4,800 francs, ce qui met le prix total du pont à 17,300 francs (y compris mise en place).

Plaques. — 1° La Compagnie de l'Ouest avait, dans l'enceinte de l'Exposition, un assez grand nombre de plaques en fonte de $4^{m},50$ et $5^{m},25$ de diamètre qui ont servi aux manœuvres, bien qu'elles n'aient pas été, à propremen dire, exposées; nous signalerons néanmoins, comme détail intéressant, la disposition du pivot central qui permet de régler le plateau supérieur en agissant sur une forte vis unique à filet

triangulaire d'une forme spéciale qui se meut dans un écrou en bronze.

On conçoit facilement que le réglage est ainsi plus simple et surtout plus régulier que celui obtenu au moyen du serrage de quatre boulons, travaillant rarement ensemble d'une façon égale.

Le principe de cette disposition est déjà ancien, il a été appliqué par la Compagnie de l'Ouest, vers 1855, cette Compagnie a encore en service des spécimens des premières plaques montées, avec pivot établi suivant ce principe, mais avec filet carré.

Le filet triangulaire de la nouvelle disposition permet d'avoir, à hauteur égale de filets en prise, une section double de résistance, la pression étant, de plus, toujours dirigée de haut en bas, la face supérieure du filet a été faite horizontale, ce qui donne une plus grande stabilité (fig. 37, pl. 148).

Depuis 1867, la Compagnie de l'Ouest place du bois entre les rails de ses plaques et le corps en fonte. Ces pièces de bois qui, au début, avaient 0,03 environ sont maintenant portées à 0,05 ; le résultat est favorable tant au point de vue de la conservation des plaques que de la diminution du bruit.

2° *Plaque en fonte de la Compagnie d'Orléans.* — Cette plaque de $6^m,20$ de diamètre, a été établie pour permettre de tourner les voitures de 1re classe à quatre compartiments du rapide de Paris à Bordeaux, qui ont un écartement d'essieux de $5^m,500$; elle ne diffère guère des plaques ordinaires que par sa dimension.

Les rails sont en acier ; l'une des files, celle qui doit constamment correspondre à la voie principale, ne présente aucune coupure ; la seconde, qui ne doit servir que pour les manœuvres, est élevée au-dessus de la première suivant un plan incliné [1] (fig. 39, pl. 148).

Le pivot est en fer avec crapaudine rapportée en bronze.

Le plateau supérieur est en deux parties, assemblées à l'aide de boulons et éclisses ; il repose, à son pourtour, suivant la disposition ordinaire, sur des galets (14), et à son centre sur la crapaudine en bronze par un chapeau en fer (aciéré au frottement), auquel il est relié

1. Cette disposition, qui du reste n'est pas nouvelle (elle a notamment été appliquée à la Compagnie de l'Ouest, vers 1859), présente certainement un intérêt pour des plaques posées sur des voies principales, mais à la condition que la voie directe soit toujours bien tournée.

par quatre forts boulons (40 millim.) qui en permettent le réglage (fig. 38, pl. 148).

Le parquet est en tôle striée de 5 millimètres, avec plaque de feutre interposées entre ladite tôle et la fonte de la plaque, pour assourdir la plaque lors du passage des trains.

Le poids est d'environ 20 tonnes, et le prix de 6,860 francs, soit environ 0 fr. 35 le kilogramme.

3° *Plaque fer et fonte, type P.-L.-M.* — Trois spécimens de la plaque fer et fonte de $4^m,40$ de diamètre, type de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, étaient exposés par :

La Société de Marquise,

La Société de Maubeuge,

Et MM. Capitain Gény et Cie (de Bussy).

Ces plaques étaient surtout présentées comme spécimens de fabrication.

Ce type, déjà ancien, n'offre guère comme particularité que celle d'être composé d'un grand nombre de parties réunies au moyen de boulons, ce qui en facilite la fabrication, mais n'est certainement pas favorable à la durée par suite du trop grand nombre d'assemblages.

Le poids d'une plaque complète de ce modèle est de 10 t. 5 environ. MM. Capitain Gény et Cie en fixaient, dans leur notice, le prix à 3,600 francs, soit à peu près 0 fr. 35 le kilogramme.

4° *Plaque tournante. — Modèle de la Compagnie du Nord.* — La Société de Marquise a exposé également, comme spécimen de fabrication, une plaque mixte en fonte et en bois de $4^m,20$ de diamètre, *type du Nord.*

Le poids en est de 8 t. 5 et le prix de 2,000 francs environ, soit relativement assez économique de premier établissement.

5° *M. Chevallet* a exposé un petit modèle de plaque tournante étudiée pour permettre le passage des véhicules sans solution de continuité et par suite sans choc.

A cet effet, les quatre angles intérieurs des voies de la plaque sont mobiles autour d'un axe vertical passant par l'intersection des deux files de rails qui se coupent à angle droit, et cela, de telle façon que la portion de rail *a-b*, qui fait corps avec le plateau, soit automatique-

ment ramenée dans la voie principale après chaque mouvement de la plaque.

Cette voie est donc sans solution de continuité.

Lorsque l'on veut faire passer un véhicule de la voie principale sur la voie perpendiculaire, on l'amène sur la plaque, en ayant soin que les roues ne portent pas sur les parties mobiles *a-b*; puis, après avoir tourné la plaque, on fait, en agissant sur une manivelle spéciale, tourner les quatre angles mobiles d'un quart de tour de façon que la portion de rail *a b* vienne en *a' b'*, où elle reste tant que l'on agit sur le levier de commande; puis, une fois le véhicule passé, on abandonne la manivelle et les parties mobiles reviennent en *a b* sur la voie principale.

L'idée est certainement ingénieuse, mais cette combinaison de pièces offre trop de causes de dérangement pour avoir chance de passer, avec avantage, *de la théorie à la pratique.*

En terminant, nous citerons, pour mémoire, la plaque en bois de 1^{m},600 de diamètre exposée par MM. Raynaud, Béchade et Cie. La construction en est primitive; mais, en raison de sa simplicité et de la facilité d'entretien et de réparation, elle peut présenter un intérêt pour le petit matériel d'entrepreneur. Son poids est de 300 kilogrammes environ et son prix de 250 francs.

Les *sections étrangères* ne nous ont montré rien d'important comme plaques tournantes; nous n'avons à citer que :

1° Une plaque en fer, avec cuve en fonte et tôle, exposée par la Société I. R. P. Autrichienne, et dont la particularité principale consiste dans la suppression du chemin de roulement des types ordinairement usités en France, remplacés par huit galets fixes sur lesquels la plaque repose, dans sa position normale seulement, par l'intermédiaire de plaques en acier fixées au plateau mobile et terminées de chaque côté en plan incliné pour éviter les chocs à la rencontre des galets.

Le résultat est, en dehors de l'économie d'établissement, de rendre la manœuvre plus douce par suite de la suppression du frottement des galets pendant que l'on tourne la plaque.

Avec cette disposition, il est essentiel de charger la plaque symétriquement pour éviter de fatiguer et par suite détériorer rapidement le pivot.

2° M. Veckum, ingénieur autrichien, a exposé un petit modèle et les dessins d'une plaque tournante dans laquelle le pivot central est supprimé et remplacé par deux chemins de roulement concentriques, garnis de sphères maintenues entre elles et pour chaque rangée à un écartement régulier par un cercle en fer à articulations.

L'inventeur indique que, depuis cinq ans que ce système est appliqué, deux cent quatre-vingts plaques ont été mises en service. Un essai fait en France, dans une des grandes Compagnies de chemins de fer, n'a pas donné de bons résultats; la manœuvre était notamment très dure, paraît-il, au bout de très peu de temps de montage, par suite notamment de l'usure irrégulière des sphères.

GRUES FIXES.

Pour ne pas dépasser notre cadre, nous ne parlerons ici que des grues exposées dans la classe 64 et plus spécialement utilisées par les chemins de fer.

1° *Grues à pivot fixe* (*type Est*). — Deux spécimens de grue à pivot fixe et tambour (type de la Compagnie des chemins de fer de l'Est) étaient exposés :

L'un, de 10 tonnes, par la Compagnie elle-même; le second, de 6 tonnes, par MM. Capitain Gény et Cie.

Le bâti du treuil est en fonte et supporté par un pivot également en fonte; la flèche est en tôle et cornière, et les tirants en fer plat.

Les points intéressants de ce type d'appareil sont les suivants :

1° Remplacement des fondations ordinaires en maçonnerie par un plateau de base, en fonte, dans lequel est claveté le pivot fixe, en fonte; ce plateau repose sur une aire de ballast bien damée, et reçoit, de plus, une charge de remblai d'une épaisseur variant un peu avec la force de l'appareil (0,900 pour une grue de 10 tonnes)[1].

2° Disposition spéciale ne permettant pas la descente du fardeau avant que l'arbre des manivelles n'ait été immobilisé en le débrayant,

1. Les premières grues sans fondation en maçonnerie, ont été établies, en 1866, par la Compagnie de l'Est. Au 1er janvier 1878, le nombre des appareils de ce genre en service à l'Est était de quatre-vingt-seize de 6 tonnes et de vingt de 10 tonnes.

ce qui a pour conséquence la mise en action préalable du frein[1]. (Fig. 42, pl. 149.)

Le poids de l'appareil complet est de 10 t. 5 environ pour une force de 6 tonnes, et de 15 t. 5 pour 10 tonnes.

2° *Grues à pivot fixe* (*type Ouest*). — La Compagnie de l'Ouest avait installé, dans l'enceinte de l'Exposition, un certain nombre de grues de 6 et 10 tonnes de son dernier type, qui ont servi à la manutention et y sont restées à titre d'objets exposés.

Ces appareils sont établis, comme les précédents, avec bâti, pivot et plateau de fondation en fonte et flèche en tôle et cornière. Les deux types (6 et 10 tonnes) ne diffèrent que par les dimensions des pièces.

L'entraînement de la chaîne se fait au moyen d'une noix venue de forge avec l'arbre en fer. Le pivot est fixé sur la couronne supérieure du plateau de base, au moyen de boulons, cette disposition est plus simple pour le montage que celle du type Est.

Le plateau est en deux parties réunies, suivant un diamètre, au moyen de boulons; il repose sur une couche de ballast bien damée d'une épaisseur de 0,50 au moins et est recouvert d'une couche de ballast de 0,800 à 1 mètre environ[2].

Le bâti en fonte se trouve assez fortement déporté par rapport à l'axe du pivot, et cela dans le but d'équilibrer une partie du moment de la flèche.

Tous les engrenages sont intérieurs, disposition à recommander pour la sécurité des hommes chargés de la manœuvre[3].

Enfin, les appareils exposés étaient munis du frein à embrayage automatique par friction, système *Bourgougnon*, qui supprime la roue à rochet et les inconvénients qu'elle entraîne, notamment dans le cas de secousses pouvant occasionner la rupture des dents.

1. Tant que l'arbre des manivelles est embrayé pour la montée, le mouvement en sens inverse est empêché par un rochet à cliquet enfermé dans une enveloppe en tôle destinée à le soustraire à l'action des agents.

2. Dans le cas d'installation dans des cours pavées, on ne pose le pavage qu'un certain temps après la mise en service, et une fois que l'on s'est bien assuré qu'il ne se produit plus de tassement.

3. Les Compagnies du Nord et de Paris-Lyon-Méditerranée ont également adopté, paraît-il, ce même type d'engrenage pour leurs grues.

Ce frein est appliqué, depuis 1870 environ, à toutes les grues construites par la Compagnie[1].

Le fonctionnement de cet appareil est le suivant (fig. 43, pl. 148).

La poulie de frein, montée folle, généralement sur un arbre intermédiaire de la grue, est maintenue fixe, d'une part, par l'action du levier à contrepoids sur la bande métallique du frein, et, d'autre part (sens longitudinal), par une butée dans les deux sens.

Le cône d'embrayage mâle, monté fou sur le moyeu de la poulie (sur lequel il peut aussi se déplacer longitudinalement), porte sur sa face opposée au cône femelle (intérieur de la poulie) deux encoches taillées en forme d'hélices, lesquelles, dans le mouvement de montée du fardeau, sont emboîtées par deux saillies semblables d'un manchon fixe monté sur le même arbre.

Dans ces conditions, le cône mâle tourne sans intéresser en rien la poulie du frein, maintenue fixe comme il a été dit ci-dessus.

Dès que le mouvement change de sens, les hélices du manchon repoussent le cône mâle contre le cône femelle, formé par l'intérieur de la poulie du frein ; cet embrayage par friction, a pour effet l'arrêt immédiat du manchon fixé sur l'arbre et, par suite, du mouvement de descente du fardeau, lequel ne peut être continué qu'en soulageant légèrement le levier à contrepoids du frein.

Le principe d'action par friction exclut toute possibilité de choc et, par suite, de rupture de pièce. Il paraît offrir toutes les garanties désirables de simplicité et de sécurité[2].

Les poids des grues type Ouest sont d'environ 14 tonnes, plateau compris, pour 6 tonnes de force, et 18 t. 500, plateau compris, pour 10 tonnes.

Les charges de ballast correspondant au diamètre du plateau et à sa profondeur dans le sol, sont de 24 tonnes environ pour la grue de 6 tonnes, et 28 tonnes pour celle de 10 tonnes.

3° *Grue à pivot tournant.* — La maison Eiffel avait également installé dans le Champ de Mars trois grues de son système pour les manutentions, et elles y sont restées exposées.

1. Les Compagnies de l'Ouest et de Paris-Lyon-Méditerranée ont adopté ce frein d'une façon générale pour tous leurs appareils de levage.

2. Pour plus de détails, voir la brochure publiée par l'inventeur qui avait, du reste, exposé pour son compte différents spécimens.

Dans ce modèle, le pivot tournant et la flèche sont en fer.

Les fondations en maçonnerie sont également supprimées et remplacées par un cuvelage en tôle et fonte, en trois parties.

Le pivot se meut dans la cuve centrale en fonte, qui sert de guide au chemin de roulement et dans laquelle on peut pénétrer par un trou d'homme pour la visite et l'entretien.

Le cuvelage est rempli de lest en sable [1] et il s'appuie, par une couronne externe assez large, sur le ballast qui doit être bien bourré, afin d'établir la stabilité de l'appareil.

L'emploi des systèmes de grues sans fondations, dont le plus répandu paraît être encore celui à plateau en fonte, présente, sur les systèmes à fondations en maçonnerie, l'avantage d'une légère économie d'établissement, en même temps qu'une plus grande facilité d'entretien et de déplacement pour les besoins du service; il ne paraît devoir tendre qu'à se généraliser davantage.

GRUES ROULANTES.

Nous avons remarqué trois appareils de ce genre, dans la section française :

1° *Type de la Compagnie Paris-Orléans.* — La grue roulante (attelable et à pivot fixe) exposée par la Compagnie d'Orléans est du système à chaîne Galle, en usage depuis longtemps à cette Compagnie.

Le châssis, à quatre roues, qui la supporte, est formé d'un cadre en fer ɪ entretoisé par un très lourd croisillon, en fonte, servant de base à l'appareil.

La flèche est en tôle et cornière et le tirant peut s'allonger pour permettre l'abaissement de ladite flèche pour l'attelage dans les trains.

Le bâti est en fonte avec contrepoids mobile commandé par une vis, ce qui permet d'équilibrer le poids à soulever et le moment de la flèche dans ses différentes positions.

La disposition du treuil est telle que les hommes qui agissent sur les manivelles doivent tourner le dos à la charge qu'ils élèvent, pour être

1. Tout autour de la cuve en fonte servant d'enveloppe au pivot.

dans la position normale du mouvement et avoir le frein à leur main, ce qui est un inconvénient.

La grue peut être déplacée sur la voie au moyen d'un mouvement d'engrenage, commandé par deux manivelles extérieures au bâti.

La force nominale de l'appareil est de : libre, 5 000 kilogrammes et 6 000 kilogrammes agrafée aux rails. La portée est de 4 mètres et la hauteur sous flèche 6 m. 50. Le poids est de 15 t. 600, et le prix de 12,600 francs.

2° *La Société de Marquise* a exposé un spécimen de grue roulante pour chemins de fer.

La partie intéressante de cet appareil est l'emploi d'un nouveau système de frein dit à « *embrayage* » qui permet la descente du fardeau sans retour en arrière des manivelles et sans aucun débrayage.

On arrive à ce résultat de la manière suivante :

L'arbre des manivelles, dont le mouvement en arrière est empêché par un rochet enfermé dans une boîte en tôle, porte un pignon, calé ou venu de forge, qui engrène avec un second pignon « *planétaire* » dont l'axe est porté par deux plateaux, boulonnés ensemble et tournant fous sur l'arbre des manivelles ; le tout est entouré d'une couronne[1] dentée *intérieurement*, engrenant avec le pignon « *planétaire*, » et guidée par les deux plateaux.

L'un des plateaux porte un long moyeu à l'extrémité duquel est, calé ou venu de fonte, le pignon commandant la roue du tambour.

Ceci dit, on conçoit que si l'on fait tourner l'arbre des manivelles dans le sens de la montée du fardeau et que le frein ne soit pas serré, le pignon « *planétaire* » et la couronne tourneront sur eux-mêmes et le fardeau ne sera pas soulevé.

Si, au contraire, le frein est serré, la couronne devenant fixe, le pignon « *planétaire* » tournera sur son axe et autour du centre de l'arbre des manivelles en entraînant avec lui les deux plateaux, ce qui déterminera la rotation du tambour et l'élévation du fardeau.

Si, une fois la charge en l'air, on abandonne les manivelles, l'arbre est arrêté par le rochet à cliquet, et le frein retient le fardeau ; en desserrant le frein, on permet la rotation de la couronne, par suite celle des plateaux du pignon « *planétaire*, » c'est-à-dire la descente du fardeau.

1. Servant de poulie de frein.

L'avantage de ce système, très ingénieux, est le repos absolu des manivelles, à la descente, sans aucun débrayage, mais le système planétaire doit augmenter les frottements et, de plus, il a l'inconvénient de n'être pas vérifiable à tout instant, ce qui est une gêne pour l'entretien.

3° *MM. Capitain, Gény et Cie* avaient exposé un type de grue roulante *à vapeur*, *non attelable*, avec châssis, pivot et bâti du treuil en fonte, flèche en fer zorès, et dont les points intéressants étaient :

La suppression du rochet et du frein des grues ordinaires, par suite de l'emploi de noix à mouvement différentiel, permettant au poids de rester suspendu dans les différentes positions de la montée;

Emploi d'un générateur vertical formant en même temps contrepoids;

Application d'un cylindre à vapeur à piston rotatif, pour communiquer le mouvement aux différents pignons du mécanisme;

Enfin, disposition à engrenage commandée par un volant, à hauteur de la main, pour orienter l'appareil et mouvement de translation à main, semblable à celui de la grue de Paris-Orléans.

Le poids, pour une force de 4 000 kilogrammes, est, d'après les constructeurs, de 12 850 kilogrammes, et le prix 9,000 francs.

4° *Grue Chrétien.* — Bien que n'étant pas exposée dans la classe 64, nous ne croyons pas devoir omettre de rappeler, au moins pour mémoire, la grue à vapeur à action directe de M. Chrétien, appliquée et très appréciée comme *grue roulante*, par diverses Compagnies de chemins de fer et en particulier par celle du Nord.

Cet appareil a été suffisamment décrit, et notamment dans les mémoires de la Société, pour qu'il ne soit pas utile d'y revenir dans ce rapport. Nous renvoyons pour les détails de l'appareil aux nombreuses brochures et notes publiées sur ce sujet [1].

Sections étrangères. — Nous citerons comme grue roulante à vapeur très intéressante, celle exposée, par M. *Ch. Brown*, dans la section suisse, et construite, en France, par *MM. Corpet et Bourdon.*

Pour ne pas sortir du cadre du matériel de voie, nous nous borne-

1. Voir en particulier : *Mémoires de la Société*, n° 2, de 1875. *Bulletin de la Société industrielle d'Amiens*, n° 5, de 1875, et enfin *Revue industrielle* (n° 16, avril 1877) pour le dernier type établi par la Compagnie du Nord.

rons à indiquer le principe du moteur en considérant l'appareil comme grue roulante.

Un cylindre en fonte A (fig. 44, pl. 148) est entièrement plongé dans une chaudière locomobile de façon à être constamment à la même température que la vapeur de la dite chaudière.

A l'extrémité inférieure du cylindre vient aboutir un tube par lequel, au moyen d'un robinet, on peut amener la vapeur sous le piston dudit cylindre qui commande le levier de la grue.

La partie supérieure du cylindre communique, avec l'intérieur de la chaudière, par l'intermédiaire de deux longs tubes, dont l'extrémité inférieure est entièrement plongée dans l'eau.

Le fonctionnement est le suivant :

1° Pour abaisser le levier de la grue, pour l'accrochage du fardeau, on fait arriver de la vapeur à l'extrémité inférieure du cylindre; l'équilibre s'établit entre les deux faces du piston, et, par suite du poids du levier de grue, le piston s'élève, d'un mouvement régulier et lent, attendu qu'il doit chasser l'eau qui se trouve à la partie supérieure, laquelle ne peut sortir que par les tubes cités plus haut, et dont la section a été établie faible à cette intention.

Pour relever la charge, il suffit, à l'inverse de la manœuvre précédente, de faire échapper la vapeur de la partie inférieure du cylindre; la pression intérieure de la chaudière vient agir, par l'intermédiaire de l'eau passant par les petits tubes susmentionnés, sur la face supérieure du piston, pour l'abaisser et, par suite, élever le fardeau et cela toujours régulièrement, par suite de l'emploi de l'eau à faible débit comme intermédiaire [1].

Dans le cas d'application à une locomotive, une disposition spéciale permet le mouvement de rotation du levier autour d'un axe vertical coïncidant avec celui du piston moteur.

Lorsqu'il s'agit de « grue locomobile, » c'est tout le système de la chaudière et de l'appareil élévateur qui tourne autour d'un pivot fixe du bâti [2].

1. Dans les cas où les eaux employées seraient très incrustantes, une disposition spéciale permet d'agir sur la face supérieure du piston, par l'intermédiaire d'eau qui peut être distillée et contenue dans une enveloppe du cylindre.

2. Pour plus de détails, voir le rapport de la section d'étude des *Locomotives* et le portefeuille économique d'Oppermann (n° de janvier 1879).

Ces appareils, très ingénieusement combinés, peuvent certainement rendre des services comme grues roulantes.

BARRIÈRES DE CLOTURE.

Trois spécimens de barrières métalliques ont été exposés dans la section française.

1° *Barrière roulante de 4 mètres, exposée par la Compagnie du Midi.* — Cette barrière, entièrement métallique, a sa porte roulante et son portillon construits en fer T, fer L, fer U et feuillard.

Les poteaux-guides, les poteaux de battement et le chemin de roulement sont en *rails Brunel* retirés des voies; ils sont ajustés et boulonnés sur des supports en fonte, entièrement noyés dans le sol et remplaçant les fondations en maçonnerie.

Cette dernière disposition est l'une des particularités intéressantes du type; elle simplifie beaucoup le montage en place.

La solidarité qui existe entre les poteaux, leurs supports en fonte et le chemin de roulement est très favorable à la solidité et au bon fonctionnement.

La barrière est maintenue, entièrement ouverte ou complètement fermée, au moyen d'un enclanchement qui se fait automatiquement pour la position fermée, et à volonté pour la position ouverte. Dans les deux cas, après fermeture, la barrière ne peut être manœuvrée qu'après ouverture de la serrure d'enclanchement par le garde au moyen d'une clef spéciale.

Ce type est employé, exclusivement, depuis trois ans, par la Compagnie du Midi qui est très satisfaite du fonctionnement.

Le poids total d'une barrière est de 1 200 kilog. environ (dont 370 kilog. de supports en fonte et 520 kilog. de poteaux et chemins de roulement). Son prix en place, est de 410 fr., (non compris le transport du dépôt de la Compagnie au lieu d'emploi).

2° *Barrière métallique pivotante de 5 mètres, exposée par la Compagnie d'Orléans.* — Le vantail et le portillon sont établis en feuillard

et cornières ; le treillis est doublé, à la partie inférieure, par des bandelettes de fer, dans le but d'empêcher les animaux de petite taille de s'introduire sur la voie.

Les poteaux sont en vieux rails hors de service, ce qui, en raison de la durée, est au moins aussi économique que le bois ; ils sont encastrés, à leur partie inférieure, dans des massifs en maçonnerie.

Le poids de la barrière complète est de 550 kilog. environ, dont 300 kilog. à peu près de poteaux.

Le prix, non compris la pose et les fondations, est de 400 fr. environ.

Ce type est en usage à la Compagnie d'Orléans depuis 1868.

3° *Barrière métallique pivotante, à deux vantaux et portillon, construite et exposée par la maison Baudet.* — Le spécimen exposé était conforme au type construit, précédemment, par M. Baudet pour l'ancienne Compagnie des Charentes et destiné aux passages de 7 mètres ou aux entrées de cours à marchandises.

Les cadres des vantaux et du portillon sont en cornières, le treillis des vantaux en cornières et fer plat, et celui du portillon, simplement en fer plat.

Les poteaux des vantaux, en vieux rails retirés des voies, sont fixés dans des massifs de maçonnerie ; celui du portillon, fixé également dans la maçonnerie, est en fer I de $\frac{120 \times 45}{5}$.

La fermeture des deux vantaux se fait, pour chacun, au moyen d'un verrou vertical entrant dans une même pièce en fonte, scellée dans le ciment et servant de repos au vantail une fois la barrière fermée ; une sorte de loqueteau, à la partie supérieure, et une ferrure avec cadenas au milieu, complètent le mode de fermeture.

Un pivot en hélice a été appliqué au portillon pour le ramener, automatiquement, dans la position fermée.

Un petit levier à crochet, avec contrepoids, permet de le maintenir ouvert dans le cas de nécessité.

Le poids de la barrière complète est de 480 kilog. et son prix de 470 fr. environ, compris montage et fondations (dont 170 environ pour fondation).

Aucun spécimen de barrière n'était exposé dans les sections étrangères, nous avons seulement trouvé dans l'exposition de MM. Saxby et Farmer :

1° Le dessin d'une disposition[1] pour *manœuvre à distance* des barrières pivotantes avec enclanchement réciproque de la manœuvre de la barrière et de celle des signaux commandant les voies, de telle façon que la barrière ne peut être ouverte que lorsque tous les signaux sont à l'arrêt et réciproquement.

Cette disposition est naturellement assez compliquée et ne semble pas, par suite, présenter toutes garanties de bon fonctionnement.

2° Une disposition beaucoup plus simple, permettant l'enclanchement réciproque du système de fermeture de la barrière et de la manœuvre des signaux commandant les voies, mais avec manœuvre à main de la barrière.

La fermeture est obtenue au moyen de deux verrous, l'un manœuvré à distance, et l'autre à la main, par le garde-barrière; l'enclanchement se fait à l'intérieur d'une boîte fixe, faisant corps avec l'un des vantaux, de telle façon qu'une fois la barrière fermée, le garde ne peut manœuvrer son levier à main que si, au préalable, le verrou commandé à distance est amené dans une certaine position qu'il ne peut prendre que par le fait de la mise à l'arrêt des signaux.

Réciproquement, une fois la barrière ouverte, le garde des signaux ne peut les manœuvrer que lorsque le garde du passage à niveau a fermé sa barrière.

La disposition est complétée par une sonnerie électrique, permettant aux deux gardes de correspondre entre eux pour les demandes d'ouverture ou de fermeture.

HEURTOIRS.

L'Exposition ne nous a montré qu'un spécimen de heurtoir; il était exposé au parc découvert de la voie, par la Compagnie du Midi, et exclusivement établi en vieux rails, sauf une traverse en chêne destinée à supporter directement le choc des tampons des véhicules.

La charpente métallique de cet appareil, reliée à un châssis servant

1. Voir la notice jointe au dossier de la section d'études.

de base, est composée de deux rails ordinaires de $5^{m}.500$ faisant suite à ceux de la voie, et dont six des traverses sont reliées entre elles, à la partie inférieure, par deux rails Brunel.

Les deux rails ordinaires, faisant jambes de forces viennent buter sur un rail (bout de rail Barlow), auquel ils sont reliés, et qui est rivé lui-même sur les deux rails Brunel.

Depuis trois ans, la Compagnie du Midi n'emploie plus que ce type de heurtoir, qui lui donne complète satisfaction.

Le poids de la partie métallique est de 1 200 kilogrammes environ.

Et le prix de l'appareil complet 325 francs.

ALIMENTATIONS.

Nous n'avons trouvé rien de bien important à mentionner, pour les alimentations. Nous citerons pour mémoire :

1° La pompe à deux pistons et courant continu pour réservoir d'alimentation, exposée par la Compagnie de l'Ouest (un spécimen et un dessin).

La disposition étudiée pour éviter tout arrêt ou rebroussement de la colonne liquide, tant à l'aspiration qu'au refoulement, est favorable à la marche à grande vitesse et permet d'obtenir le maximum de débit.

Le moteur est, en général, à l'Ouest, une machine fixe supportée par la chaudière du type tubulaire placée immédiatement au-dessus du puits;

2° Deux grues hydrauliques exposées, comme spécimens de fabrication, par les constructeurs.

a. Le type de la Compagnie de l'Est, exposé par MM. Capitain Gény et Cie, a sa colonne ascensionnelle garantie de l'influence du froid par une enveloppe en fonte que l'on remplit de charbon pilé.

La fondation ordinaire en maçonnerie est remplacée par une cuve carrée, en fonte, reposant sur du béton recouvert d'un enduit de ciment à l'intérieur, pour faciliter l'écoulement des eaux de purge. Son poids

tout complet est de 2220 kilog., et son prix, indiqué par le constructeur, de 950 francs.

b. Le type du Nord, exposé par la Société de Maubeuge, est muni d'un foyer à la partie inférieure et d'une double enveloppe pour permettre d'éviter la congélation pendant l'hiver.

Le poids indiqué est de 852 kilog. et le prix de 320 francs environ.

CHARIOTS A VAPEUR ET A MAIN.

1° *Chariot à vapeur pour wagons chargés* (type Ouest). — L'appareil exposé par la Compagnie de l'Ouest a été établi pour faciliter les manutentions à faire dans les grandes gares ; il permet de supprimer pour ce travail, l'emploi des chevaux, de réduire d'une façon importante le nombre des plaques tournantes et, surtout, d'activer beaucoup les manœuvres.

Il comprend deux parties bien distinctes :

1° *Le chariot à niveau* proprement dit, ou tablier mobile métallique, portant une voie d'une longueur suffisante pour recevoir les divers types de wagons en usage en France.

Ce tablier est muni de trois files de galets, roulant sur une voie à trois rails, établie d'équerre par rapport aux voies desservies, qu'elle traverse à niveau.

Les rails du chariot, *surélevés* de $0^m.125$ au-dessus du niveau des voies ordinaires, sont raccordés avec elles, par des aiguilles mobiles, à chaque extrémité ;

2° *Le moteur*, à chaudière tubulaire, se compose d'une machine à deux cylindres, avec changements de marche commandant deux systèmes d'engrenages dont l'un agit sur les essieux de la machine et l'autre commande le tambour sur lequel s'enroule la corde servant au halage des wagons.

Le chariot et le moteur, formant deux parties entièrement séparées, sont réunis, au moyen d'un système d'attelage mobile, ce qui favorise les réparations et travaux d'entretien.

Un appareil semblable à celui qui était exposé, était en service à la gare des Batignolles depuis huit mois environ, lors de l'ouverture de l'Exposition; il avait à desservir 12 voies longitudinales sur une longueur de 100 mètres environ [1].

Ce chariot-à vapeur travaille sans arrêt, soit 24 heures par jour (il est arrêté environ six heures par semaine pour entretien et réparations s'il y a lieu).

Le service est fait par trois équipes, travaillant chacune huit heures par jour, et composées de : un chauffeur mécanicien, un chef d'équipe, un accrocheur.

Dans ces conditions, la manutention peut être de 500 wagons par jour.

Le poids de l'appareil complet (moteur et chariot) est de 21 t. 1/2, il a été construit par la Société de Fives-Lille au prix de 1 fr. 20 c. le kilog. [2].

2° *Pont roulant à vapeur pour locomotives* (*type P.-L.-M.*). — Nous citerons, pour mémoire, le chariot roulant à vapeur de 7 mètres exposé par la Compagnie de Lyon. Cet appareil ne faisant pas partie du matériel de la voie, nous renvoyons, pour son étude, au dossier des locomotives. Un dessin d'ensemble existe néanmoins dans notre dossier du matériel de la voie.

3° *Chariot roulant sans fosse* (*type Est*). — MM. Capitain, Gény et Cie ont exposé, comme spécimen de fabrication, un chariot roulant à niveau du type de la Compagnie de l'Est.

Cet appareil se compose : d'un châssis métallique, porté sur 2 essieux et formé par deux longerons en tôle et cornières, reliés transversalement, aux extrémités, par deux poutres composées, en tôle, et au milieu, par quatre rangs de traverses, dont deux en tôle et deux en fer T de 140×90.

Les cornières inférieures des longerons qui servent à supporter les roues des véhicules, sont terminées, à chaque extrémité, par une pointe

1. Depuis, le nombre des appareils en service, dans la même gare, a été porté à 4, dont 2 de rechange.

Le nombre des voies à desservir est de 32.

2. Ce genre d'appareil, employé et apprécié depuis longtemps déjà en Allemagne, est également appliqué par la Compagnie de l'Est; sa généralisation en France paraît devoir se continuer en raison de l'activité qu'il permet de réaliser dans les manœuvres des gares ou les manutentions sont assez importantes pour en justifier l'emploi.

en acier formant plan incliné fixe et dont le but est de faciliter le passage des roues du véhicule du rail de la voie sur le chariot.

Ce système a l'avantage d'être simple de construction et d'éviter la fosse qui est toujours une gêne ; mais pour le cas particulier considéré, la hauteur des poutres a l'inconvénient d'être un peu forte (424 milimètres au-dessus du rail de la voie), ce qui peut gêner pour la manœuvre de véhicules dans lesquels quelques pièces du châssis descendraient un peu bas, fait qui se produit en particulier pour les véhicules à frein.

Le poids, approximatif, est fixé par le constructeur à 2 760 kilog., et le prix à 1,950 fr.

APPAREILS DE PESAGE.

1° *Pont à bascule de* 20 *tonnes*, exposé par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, et construit par MM. Capitain, Gény et Cie (sur les plans de la Compagnie).

Le point essentiel et nouveau à signaler est l'ingénieuse disposition étudiée pour éviter, d'une façon absolue, la fatigue du mécanisme résultant du passage d'un véhicule sur le pont pendant qu'il repose sur ses couteaux, par suite de l'oubli du calage, qui se produit assez fréquemment avec les dispositions usitées jusqu'ici.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée est arrivée à ce résultat de la façon suivante :

A l'état normal, le tablier est complètement isolé de ses couteaux et supporté par des cales fixes.

Le décalage n'est produit qu'au moment où le véhicule à peser est en place sur le pont, il a pour conséquence la fermeture de la voie du pont à ses quatre angles, par quatre pièces mobiles, en fonte, glissant dans des rainures transversales à la direction de la voie, pour venir s'appliquer sur le rail, et commandées par un jeu de bielles reliées au mouvement du calage.

La conséquence de cette fermeture de la voie, pour le pesage, est de

forcer l'agent chargé de la manœuvre à caler à nouveau le pont, après pesage, afin *d'ouvrir la voie* pour la sortie du véhicule de dessus le pont.

Il ne peut donc y avoir oubli.

Cette disposition présente un grand intérêt, surtout pour les appareils placés sur des voies fréquentées.

Le poids d'un pont complet de 20 tonnes et de 4 mètres de longueur de voie est de 6 750 kilogrammes, se décomposant comme suit :

Tablier.	1 690	kilogrammes.
Mécanisme.	645	—
Cuvelage.	2 780	—
Appareil de calage.	1 321	—
Romaine.	187	—
Caisse-abri.	127	—
Total.	6 750	kilogrammes.

Le dernier prix payé a été de 0 fr. 50 c. le kilogramme, soit 3 375 francs pour le pont complet.

2° *Appareils divers.* — Parmi les autres appareils de pesage de wagons exposés dans la classe 64, nous citerons :

1° Le pont de 20 tonnes, à leviers rectilignes et cuvelage en fonte, exposé par les usines de la Mulatière, à Lyon.

Cette maison (anciennement Catenot Béranger) avait déjà fait figurer à l'Exposition de 1867 un pont avec cuvelage en fonte remplaçant les fondations en maçonnerie, système inventé par elle en 1860 et qui est aujourd'hui tombé dans le domaine public et appliqué par toutes les Compagnies de chemins de fer, en raison de la facilité de montage et de déplacement.

2° Les divers appareils exposés par M. Paupier.

3° Le pont de 12 000 kilogrammes pour tramways exposé par MM. Chauvin et Marin Darbel.

On trouvera, au dossier de la section, les dessins et notices concernant ces différents types d'appareils, y compris une note de M. Paupier sur une *plaque tournante pont à bascule*, système qui ne nous paraît pas destiné à passer du domaine de la théorie à celui de la pratique.

On trouvera également, dans les dossiers de la section d'études du matériel de la voie, différents dessins et notices de système de bascules pour pesage des petits colis ordinaires, exposés : par les usines de la Mulatière, d'une part, et MM. Bailly et Roche d'autre part.

L'application de cadrans, comme répétiteurs des indications du levier, permettant une lecture et par suite un contrôle facile à distance, présente un grand intérêt qui en fait espérer la généralisation[1].

Nous croyons également devoir appeler l'attention sur le type de « *romaine automatique* » très ingénieusement étudié par M. Dujour et qui a figuré dans l'Exposition des usines de la Mulatière[2].

PETIT MATÉRIEL DE LA VOIE ET DES GARES.

Un assez grand nombre d'appareils de petit matériel pour les gares ou pour les travaux de terrassement de la voie étaient exposés dans la section française.

On a pu y remarquer, en particulier, plusieurs spécimens de tricycles en fer (tarés à 100 kil.) destinés au transport direct des bagages des cours des voyageurs aux fourgons des trains et à leur pesage, sans aucun transbordement, ce qui offre (toutes les fois que les dispositions de la gare s'y prêtent) un grand intérêt comme économie de temps et de main-d'œuvre[3].

La différence entre les divers modèles est peu sensible, ils dérivent tous d'un premier type établi pour la Compagnie d'Orléans, pour lequel on s'est inspiré, croyons-nous, d'un modèle en usage à la Compagnie du Nord depuis un certain nombre d'années, mais qui n'était pas utilisé pour le pesage. Une des premières améliorations a consisté à diminuer le bruit en enveloppant les roues de bandes de caoutchouc sur lesquelles se fait le roulement.

1. Un type (exposé par La Mulatière) est dû à M. Dujour, et l'autre à MM. Bailly et Roche.

2. La Romaine automatique de M. Dujour a reçu l'approbation ministérielle en juin 1879.

3. Ce système de transbordement est appliqué, sur une plus ou moins grande échelle, par toutes les grandes Compagnies françaises dans un certain nombre de leurs gares qui s'y prêtent le mieux.

La tare est de 100 kilogrammes et le prix varie entre 95 et 100 francs.

Nous ne croyons pas utile de décrire, dans ce rapport, les autres menus objets de petit matériel : brouettes diverses, petits diables en bois et en fer, poulains, leviers, etc., nous renvoyons, pour leur étude au dossier spécial et, en particulier, aux dessins et à la notice imprimée publiée sur ce sujet par un des constructeurs qui a fait de ces fournitures une spécialité (MM. Raynaud, Béchade et Cie).

PROCÉDÉS DE FABRICATION.

La question métallurgique devant être traitée par la troisième section, spécialement chargée de cette étude, nous ne dirons ici que quelques mots de la question fabrication et exclusivement pour ce qui concerne le matériel de la voie : rails, éclisses, boulons, selles, etc.

1° *Rails.* — Les échantillons exposés par les différentes usines métallurgiques montrent que tous leurs soins sont, dès à présent, reportés vers l'emploi de l'acier[1] pour cette fabrication, qu'elles ont abordé sur une grande échelle.

Il est probable que, d'ici quelques années, l'on ne parlera plus, que pour mémoire, du rail en fer, qui sera, partout et complètement, remplacé par le rail d'acier.

Quelques usines du nord de la France, qui fabriquent encore exclusivement le rail en fer, s'installent (en prévision de sa prochaine disparition) pour remplacer cette fabrication par celle des fers spéciaux et notamment des gros fers à plancher.

Nous citerons succinctement quelques-unes des principales améliorations apportées, pendant ces dernières années, dans la fabrication de l'acier, et qui ont permis de réaliser, beaucoup plus tôt qu'on ne l'espérait, la substitution complète de l'acier au fer pour la fabrication des rails.

1. Les 235 000 tonnes livrées, en 1878, aux différentes Compagnies de chemins de fer français, se décomposaient en 196 000 tonnes de *rails acier* et, 39 000 seulement de fer.

Les longueurs de simple voie posées en acier, au 31 décembre 1878, étaient dans les six grandes Compagnies : Est, 1 245 kilomètres; Nord, 2 800; P.-L.-M., 4 055; Midi, 210; Ouest, 1 500; P.-O., 1 000.

Les récents perfectionnements dans le chauffage de l'air et l'augmentation de puissance des souffleries ont fait faire de grands progrès dans la conduite du haut fourneau, tant au point de vue de la quantité produite que de la qualité.

On obtient, aujourd'hui, d'un haut fourneau de dimensions moyennes, avec des minerais riches il est vrai, une production de 60 à 70 tonnes de fonte aciéreuse par vingt-quatre heures.

D'autre part, on est parvenu à produire, directement au haut fourneau et économiquement, les fontes extra-manganésées ou ferro-manganèse, qui ont permis d'améliorer la qualité et de diminuer le prix de revient des aciers.

On a pu en voir, à l'Exposition, de nombreux spécimens obtenus par les usines de Saint-Louis, Terre-Noire, Montluçon, et contenant 70 à 87 1/2 pour 100 de manganèse. Ce dernier résultat était constaté pour l'usine de Saint-Louis.

Ces fontes sont devenues produit d'exportation, pour certaines usines françaises qui en expédient en Angleterre, en Prusse aux établissements de Krupp, et jusqu'en Amérique.

Un autre progrès réalisé consiste à introduire dans les lits de fusion pour fontes aciéreuses, une certaine quantité de minerai ordinaire, mais *sans phosphore*. On est arrivé déjà à en employer 50 pour 100 en complétant par des minerais spéciaux d'Algérie, d'Espagne ou des Pyrénées.

Ces essais sont poursuivis surtout à l'étranger.

Enfin, on recherche activement les moyens pratiques d'enlever le phosphore contenu dans certaines fontes dites *phosphoreuses;* ce qui, en permettant leur emploi pour la fabrication des rails, pourrait apporter de grandes modifications dans cette industrie.

De nombreux essais sont faits dans ce sens, surtout en Allemagne, en Belgique et en Angleterre ; on trouvera à ce sujet des renseignements intéressants sur les résultats obtenus par M. Lowthian-Bell dans une brochure publiée par lui et déposée à la Société dans le dossier de la section d'étude du matériel de la voie [1-2].

1. Le progrès de l'industrie de fer de Cleveland, par Lowthian-Bell.

2. M. l'inspecteur général des mines Grüner a fait, en novembre 1878, une communication à la Société d'encouragement sur un procédé de déphosphoration obtenue directement dans la cornue Bessemer par l'emploi de parois réfractaires. Voir également la note publiée dans les *Annales des mines* (1re livraison, 1879, pages 146 et suivantes).

Le laminage des rails a fait également des progrès importants dans ces dernières années; l'emploi du laminoir « *reversible*[1] » a permis d'obtenir des rails de 55 mètres[2] de longueur, ainsi que cela était montré par l'échantillon exposé par les usines de Seraing.

Le premier laminoir de ce système établi sur le Continent l'a été aux usines de Seraing, qui en obtiennent, couramment, une production de 2 000 *tonnes de rails* par semaine.

En France, la nouvelle usine de la Société de Châtillon-Commentry à Beaucaire, a reçu une installation de ce genre, l'on y lamine, avec succès, des rails à triple longueur de 8 mètres, soit d'environ 26 mètres, condition essentiellement favorable pour éviter les défauts des extrémités, tout en diminuant la proportion des pertes par longueur de rail par suite des chutes.

Ce système « *Reversible* » paraît devoir prendre une grande extension, surtout en présence de l'augmentation de la longueur normale des rails, admise actuellement, en France, à 8 mètres et au delà[3].

Les usines autrichiennes du Banat ont exposé, également comme spécimen de fabrication, un rail de 53 mètres de longueur, mais obtenu au « *Trios*. »

Il résulte des documents publiés par cette Société que leur usine d'Anina qui, jusqu'en 1875, fabriquait environ 15,000 tonnes de rails *en fer* par an, ne fabriquera plus sous peu que des rails acier. (Elle établit actuellement des rails avec tête d'acier[4], à titre de transition, en attendant qu'elle soit complètement transformée.)

Au point de vue des autres opérations (dressage, coupage, finissage), qui sont, il est vrai, tout à fait spéciales à chaque usine, l'Exposition ne nous a montré rien de particulier à signaler.

Machines pour essais à la traction et à la flexion. — Les essais pour réceptions de rails, imposés par les cahiers des charges des différentes Compagnies, sont assez variables, mais ils comprennent tous des épreuves à la *flexion*.

1. Idée appliquée pour la première fois vers 1867 par M. Ramsbottom, alors directeur de l'usine de Crewe (Angleterre).

2. L'usine en a obtenu de 60 mètres, paraît-il.

3. La Compagnie du Midi fait actuellement un essai avec rails de 11 mètres.

4. Ce système de rails mixtes, absolument mis de côté en France, paraît encore apprécié en Allemagne.

On a pu remarquer, à l'Exposition, différentes machines établies pour ces essais.

Nous citerons, en particulier, celle de M. Thomasset, à pression hydraulique, qui a l'avantage de donner des résultats très précis, au point de vue des efforts, mais présente l'inconvénient d'opérer un peu lentement pour le travail de réception courante. On trouvera, aux dossiers de la section, un dessin très complet de cette machine et un catalogue des appareils de M. Thomasset.

La machine à leviers multiples, dont un spécimen, de la force de 100 tonnes, était exposé par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, permet des opérations plus courantes.

M. Trayvou a exposé une machine de la force de 40 tonnes pour essais à la traction, dans laquelle une disposition spéciale permet d'activer la marche au début de l'opération.

Enfin, MM. Chauvin et Marin Darbel ont exposé une machine, de leur invention, pour essais à la traction et à la flexion, et dans laquelle la pression, au lieu d'être mesurée par l'ascension d'une colonne de mercure, l'est, au contraire, par sa dépression. Les inventeurs ne signalent pas que ce type ait été essayé.

On n'est pas encore d'accord sur les meilleures conditions à imposer comme degré de dureté du métal. Les deux écueils à éviter sont : d'un côté, une dureté qui présente des chances de rupture en service, et, de l'autre, une douceur de métal qui, en excluant les craintes de rupture, présente l'inconvénient d'une usure peu en rapport avec ce que l'on doit attendre de l'acier. Le point cherché est entre les deux, mais les opinions diffèrent encore sur sa fixation et sur les moyens de le vérifier.

Des épreuves sérieuses à la réception et des relevés soigneusement faits sur le service de rails répondant à différents degrés intermédiaires et placés sur des voies également fréquentées, permettront seuls, croyons-nous, d'arriver à une solution satisfaisante [1].

L'usine de Seraing indique comme conditions à imposer pour les aciers durs de rails :

1° Teneur en carbone, 0,35 à 0,50 ;

1. Un point essentiel serait, tout d'abord, de se mettre d'accord sur la longueur uniforme à adopter pour les éprouvettes destinées aux essais à la traction, afin que les allongements, pour 100, obtenus, puissent au moins être comparables, ce qui n'existe pas actuellement.

2° Résistance à la traction, 60 à 70 kil. avec allongements correspondants de 10 à 15 pour 100;

3° Enfin, ces aciers ne doivent pas se souder.

Ces conditions peuvent être bonnes, mais nous semblent au moins incomplètes (les essais à la flexion et au choc nous paraissant un complément essentiel).

Les essais au duromètre, tentés il y a quelques années, ne paraissent pas avoir eu de suite sérieuse, à en juger par l'absence d'appareils pour essais de cette nature à l'Exposition.

Eclisses et selles en acier. — La fabrication des éclisses en acier (employées à titre d'essai par les Compagnies de Paris-Lyon-Méditerranée, et de l'Ouest, et qui donnent des résultats satisfaisants) ne présente rien de spécial à signaler, si ce n'est le « *perçage* » des trous des éclisses au lieu du « *poinçonnage* », les parties destinées aux ergots étant seules poinçonnées, après perçage des trous ronds.

Boulons-tirefonds. — MM. Bouchacourt et Cie ont exposé leur système d'arrêt des écrous d'éclisses, appliqué, depuis 1868, par la Compagnie de Lyon et différentes autres Compagnies. Cette fabrication des écrous et éclisses rainés est très courante et n'entraîne qu'une plus-value à peu près insignifiante.

L'on a pu remarquer, dans l'exposition de M. Dervaux Ibled, des spécimens de boulons d'éclisses *en acier*, qu'il offre de fournir, avec une légère plus-value de 10 à 15 pour 100 sur les prix des mêmes pièces en fer; l'emploi de l'acier, pour cette fabrication, ne paraît pas essentiel, il pourrait présenter des inconvénients dans le cas où l'on emploierait de vieux matériaux avec lesquels on n'aurait aucune garantie de régularité.

Deux usines françaises ont exposé des spécimens de tirefonds pour la fabrication desquels le filetage à froid est remplacé par un filetage à chaud, ce sont :

La Société métallurgique de Gorcy (ancienne maison Labbé), et, d'autre part, MM. Bouchacourt et Cie; nous n'avons pas trouvé de renseignements sur la machine employée par la première de ces deux usines, laquelle ne donnerait pas, paraît-il, des résultats satisfaisants au point de vue de la résistance des pièces.

Le procédé d'étampage de MM. Bouchacourt, qui permet d'obtenir 250 pièces à l'heure, présente toute garantie, sous le rapport de la résistance du métal, augmentée par le martelage de la surface; il présente, en outre, l'avantage *de supprimer le déchet résultant du taraudage ordinaire et d'éviter l'altération du métal, produite par le violent effort de torsion auquel sont soumises les pièces dans le taraudage à froid fait, en général, en une seule passe.*

Coussinets. — M. Voruz, de Nantes, a exposé une machine à mouler les coussinets en fonte. Cette machine est bien combinée, mais la pratique ne paraît pas faire ressortir que son emploi procure des avantages bien saillants comme économie de temps.

Pièces de voie métallique (*longrines et traverses*). — Les inventeurs de voies métalliques (presque tous maîtres de forges) se sont, en général, attachés, dans leurs notices, bien plus à décrire les détails de la fabrication qu'à examiner, sérieusement, si leur invention répondait bien au programme à remplir pour un bon fonctionnement et un entretien économique, aussi nous renverrons, pour cette partie qui présente peu d'innovations, au dossier spécial de la voie métallique.

Appareils de voie. — La fabrication des appareils de voie ne nous offre rien de bien particulier à signaler, en dehors des spécimens de croisements en fonte durcie par le moulage en coquille, fabriqués, en France, par les fonderies des Landes, pour la Compagnie du Midi, et à l'étranger, par la maison Ganz et Cie, de Buda-Pesth.

Nous rappellerons le spécimen de croisement Price-Williams en rails assemblés[1] qui était exposé, comme spécimen de fabrication, dans la section Anglaise avec les appareils hydrauliques de Twedel, et dont la particularité (comme fabrication) est d'être obtenu par une sorte de moulage à chaud, sous la pression d'une forte machine hydraulique.

Tuyaux. — Ces pièces sont maintenant coulées couramment de bout, mode de procéder très favorable à la régularité et à la qualité.

1. Nous en avons parlé à l'article Croisements.

RÉSUMÉ.

Ainsi que cela résulte des considérations précédentes, l'Exposition ne nous a montré, pour ce qui concerne le matériel de la voie, que des perfectionnements de détails, mais aucune innovation importante destinée à faire époque.

Comme conclusion à notre exposé, nous résumons, en les rappelant en quelques mots, les faits qui nous ont paru les plus saillants, en suivant pour cela l'ordre des chapitres précédents :

I. *Voie normale et accessoires.* — 1° Généralisation de l'emploi de l'acier pour la fabrication des rails ;

2° Augmentation de leur longueur (portée à 8 mètres par 4 des grandes Compagnies françaises), les poids au mètre courant étant 30 kil. pour le type Vignole (sauf à la Cie P.-L.-M. qui a deux types : $33^k,00$ et $38^k,40$) et environ 38 kil. pour le type double champignon ;

3° Emploi du rail Vignole plus répandu, à l'étranger, que le type double champignon, ces deux types étant employés à peu près également en France.

Traverses :

Sans considérer comme absolument normaux, ainsi que nous l'avons dit, les résultats obtenus avec les spécimens de traverses exposées, injectées au sulfate de cuivre et à la créosote, on peut, au moins, en déduire qu'une préparation bien faite peut en augmenter le service dans de notables proportions.

Éclissage.

L'examen des modèles exposés montre à l'étranger une tendance bien marquée au renforcement de l'éclissage (verticalement et horizontalement).

Poteaux télégraphiques.

Sous le rapport de la préparation, la remarque faite ci-dessus pour les traverses s'applique également aux poteaux en bois.

Néanmoins, l'emploi de poteaux en fer paraît justifié pour les lignes trop chargées et dans le cas de grandes dimensions. — Les essais faits jusqu'ici dans ce sens, avec des spécimens conformes aux types exposés, donnent, paraît-il, de bons résultats.

II. ***Voie entièrement métallique.*** — La substitution du fer au bois pour les traverses et longrines de la voie, qui intéresse, quant à présent du moins, davantage les maîtres de forges que les Compagnies, continue à être, de la part des premiers, l'objet de recherches actives.

Parmi les nombreux spécimens exposés, quelques-uns montrent un progrès réel sur ce qui a été présenté et essayé jusqu'ici.

III. ***Tramways.*** (Voie). — Les divers spécimens exposés ne paraissent pas présenter d'amélioration sensible sur ce qui existe actuellement, et les types, en usage, que nous voyons journellement sur les différentes lignes de l'intérieur de Paris, semblent être encore ce qui a été fait de plus pratique.

Il y a lieu de noter, cependant, les recherches faites pour trouver une voie applicable à tous les véhicules. (Voie Delcourt et rail Omnibus.)

IV et V. ***Appareils de voie, de levage et de pesage.*** — Nous signalerons dans ce chapitre :

1° Les essais faits en France des traversées à aiguilles, usitées depuis quelques années déjà en Angleterre et en Allemagne, et présentant un intérêt pour faciliter les manœuvres dans les gares lorsque la place manque. (Passage dans les quatre directions sur deux voies qui se coupent.)

2° Les essais faits, à l'étranger, pour parer, automatiquement, par des dispositions mécaniques, au fonctionnement incomplet des aiguilles des changements de voies. (Appareils Saxby-Farmer et Paravicini.)

En France, dans le cas de manœuvre à distance, on contrôle en général le fonctionnement des aiguilles, par l'action automatique d'une sonnerie trembleuse, qui fonctionne près du poste d'aiguilleur tant que l'aiguille n'est pas au contact parfait[1] ;

1. Les dispositions avec pédales ont, de plus, pour but de remédier, mécaniquement, aux irrégularités de fonctionnement et de rendre impossible la manœuvre de l'aiguille une fois qu'un train y est engagé. (Points qui paraissent préoccuper les ingénieurs allemands ;

3° Perfectionnements apportés par la Compagnie de l'Ouest et par MM. Saxby et Farmer dans leurs systèmes d'enclenchements et de manœuvres à distance, des aiguilles et signaux.

4° Dispositions électriques appliquées par la Compagnie du Nord :

a) Pour assurer la sécurité de la circulation sur les lignes à simple et double voie, par la réalisation du mode d'exploitation désigné en Angleterre sous le nom de «Block system» (électro-sémaphores Lartigue, Tesse et Prud'homme) ;

b) Pour annoncer en un point de la ligne (passage à niveau ou autre) l'arrivée d'un train (système Lartigue, Tesse et Forest) ;

5° Tendance à employer, à l'étranger, et particulièrement en Autriche, l'électricité pour la manœuvre des signaux à distance ;

6° Essais d'appareils destinés à mesurer la vitesse des trains en des points déterminés (dromoscope et dromo-pétard Le Boulengé);

7° Suppression des fondations en maçonnerie pour le montage :

a) Des plaques tournantes de grand diamètre, ainsi que des grues fixes installées directement sur une couche de ballast bien damée;

b) Des ponts à bascule, établis avec cuves en fonte remplaçant la maçonnerie ;

8° Remplacement des charpentes en bois par des cloches en fonte pour les fondations des signaux, — barrières de clôtures, — gabarits de chargement ;

9° Perfectionnements apportés dans les freins des appareils de levage (système Bourgougnon et type de l'usine de Maubeuge) ;

10° Extension, en France, de l'emploi des chariots à vapeur (utilisés depuis quelques années en Allemagne) pour les manœuvres des wagons dans les grandes gares à marchandises ;

11° Perfectionnement de détail apportés aux ponts à bascule (type de la Compagnie P.-L.M.), pour éviter d'une façon absolue l'oubli du calage, et aux petites bascules pour bagages (appareils à cadran et « Romaine automatique » ;

voir description des appareils Hohenegger et Pollitzert dans l'*Organ*, n° 5, de1877, et n° 2, de 1878.)

VI. ***Petit matériel des Gares.*** — Perfectionnement d'exécution, et extension de l'emploi de tricycles tarés pour transport direct, sans transbordement des colis, des cours de départ aux fourgons à bagages des trains, et leur pesage.

VII. ***Usines et Forges.*** (Procédés de fabrication.) — Progrès important dans la fabrication des aciers pour rails :

1° Comme quantité de production;

2° Au point de vue de la régularité dans les degrés de dureté et de résistance exigés par les Compagnies de chemins de fer[1].

Laminage courant des rails longs en double et triple longueur.

Fabrication de tirefonds par un moulage à chaud, remplaçant avantageusement le filetage à froid, au point de vue :

1° Du prix de revient;

2° De la qualité des pièces obtenues.

Fabrication courante, et relativement économique, des croisements de voies en acier fondu et en fonte durcie.

Progrès dans la construction des machines à essayer les métaux.

1. Nous devons mentionner, également, les progrès importants réalisés par la Compagnie de Forges et Fonderies de Terre-Noire, dans la fabrication des aciers coulés sans soufflures, et dont quelques applications ont été faites à des appareils de voies (Plaques de croisement et équerres pour voie de plaques tournantes).

BORDEREAU GÉNÉRAL

DES PIÈCES CONTENUES

dans les Dossiers de la Section d'Étude du Matériel de la Voie

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

DÉSIGNATION DES PIÈCES CONTENUES DANS LES DOSSIERS.	Nos DES FEUILLES OU DOSSIERS.

Dossier O.

Mémoire sur l'ensemble du matériel de la voie à l'Exposition de 1878, résumant les études et discussions des membres de la section d'études, par E. Lecocq, secrétaire rapporteur..........	1
Procès-verbaux des séances..	2
Programme d'étude..	3
Liste des membres de la section....................................	4
Correspondance..	5
Présent bordereau...	6

Dossier A. (Voie normale.)

M. Daveluy.

I. **Notes sur les traverses en bois.** — Spécimens exposés par la Compagnie de l'Ouest..................................	1
Spécimens exposés par la Compagnie du Midi................	1-2
Résultats obtenus au Nord-Ferdinand d'Autriche............	3
Conservateur plombique Descalonne et Cie..................	4-5
Procédé de préparation de M. Blythe.......................	6 à 10
Enduit universel..	10-11
Traverse Lévêque..	11 à 14
Traverse mixte J. Gayda...................................	14-15
Pièces complémentaires (Six notices des inventeurs et un dessin 1 à 7).	

Dossier B. (VOIE MÉTALLIQUE.)

M. A. Bazaine.

1. Renseignements fournis par le secrétaire.

BELGIQUE.

AUTRICHE-HONGRIE.

ANGLETERRE.

Dossier C. (Tramways.)

M. Yvan Flachat.

Dossier D. (Appareils de voie.)

M. Dujour.

CHANGEMENTS, CROISEMENTS ET SIGNAUX.

A. — Changements de voies et traverses.

B. — Croisements.

C. — Signaux.

a. — *Systèmes de divers inventeurs. (Signaux à main.)*

A. — Signaux a main et automatiques.

B. — Systèmes divers des Compagnies de chemins de fer.

C. — Signaux électriques.

D. — Enclenchements.

Signaux et aiguilles.

E. — Dromoscope Le Boulengé.

Dossier E. (Appareils de voie.)

MM. Danvers et Lecointe.

Plaques tournantes.

Barrières.

Heurtoirs.

Chariots.

Alimentations.

Grue hydraulique.

Dossier F. (Appareils de levage et de pesage.)

MM. Danvers et Lecointe.

1° Grues fixes.

2° Grues roulantes.

3° Ponts a bascule.

Divers.

Dossier G. (Petit matériel des gares.)

M. Danvers.

Brochure donnant le détail des objets divers exposés par MM. Raynaud, Béchade et Cie (Remis par le Secrétaire)	1
Dessins des différents objets exposés par MM. Raynaud, Béchade...	2 à 14
Note avec croquis des appareils construits par M. Suc	15

Dossier H. (Usines et forges. — *Produits bruts.*)

M. Hallopeau.

Une note générale[1]	1
Une brochure de M. Lowthian Bell	2
Un dessin de la machine de MM. Chauvin et Marin-Darbel	3
Une note de M. Trayvou	4
Un catalogue de M. Thomasset (Remis par le Secrétaire)	5

Dossier I. (Divers.)

Notice sur le matériel de voie exposé par la Compagnie du Midi (remis par la Compagnie). — Installation générale (un plan). — Barrière roulante à supports en fonte (une notice, un diagramme). — Appareil de conjugaison de disques (une notice, un diagramme). — Heurtoir métallique (une notice, un diagramme). — Croisement en fonte durcie (une notice, un diagramme). — Traverses et poteaux (une notice)	I
Notice sur le matériel de voie exposé par la Compagnie de l'Ouest (remis par M. Bouissou). — Une note descriptive générale. — Signal à distance (un dessin). — Manœuvre à secteur modifié (un dessin). — Poste d'aiguilleur surélevé (deux dessins). — Gabarit de chargement en fer (un dessin). — Traversée de voies à aiguilles (un dessin). — Pont tournant de 14 mètres (deux dessins). — Chariot roulant à vapeur pour wagons chargés (un dessin)	II
Notice sur le matériel de voie exposé par la Compagnie de l'Est (remis par M. Guillaume). — Voie en rail Vignole d'acier (une note, un dessin). — Croisement de voie en rails Vignole assemblés (un dessin). — Grue de 10 tonnes sans fondations en maçonnerie (un dessin)	III

1. Analysée, avec additions et notes, pour le Rapport, par le secrétaire rapporteur.

TABLE DES MATIÈRES

DU MÉMOIRE ANALYTIQUE

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ESSAI

SUR LE

CONDITIONNEMENT, LE TITRAGE

ET LE

DÉCREUSAGE DE LA SOIE

PAR M. JULES PERSOZ[1]

COMPTE RENDU

PAR M. E. SIMON.

M. Jules Persoz, directeur de la Condition des soies et des laines, de Paris, m'avait chargé, au cours de l'année dernière, d'offrir à notre Société un exemplaire de son intéressant ouvrage sur le *conditionnement*, le *titrage* et le *décreusage* de la soie, je viens aujourd'hui vous présenter le compte rendu des principales questions traitées dans cet important travail.

En dehors des qualités particulières à l'œuvre, l'*Essai sur le conditionnement* a le mérite de l'actualité. Un Congrès international, tenu au Trocadéro en juin 1878, ayant adopté le conditionnement pour base du numérotage uniforme des fils, il est fort utile de posséder tous les éléments d'un sujet qui intéresse à un haut degré la loyauté des transactions.

Avant de passer en revue les méthodes proposées, les appareils successivement adoptés pour apprécier l'état hygrométrique des fibres, M. Persoz a rappelé, dans un chapitre très substantiel, les origines de la soie, les phases de l'éducation du ver, les propriétés physiques, la constitution chimique de la grège et l'effet des principaux réactifs sur ce textile.

1. Paris, G. Masson, éditeur, 1878.

L'histoire du conditionnement et de ses transformations permet de suivre les persévérants efforts de la Chambre de Commerce de Lyon pour arriver, d'abord, à l'adoption du principe du conditionnement public, ensuite à la création d'appareils se prêtant à des essais rapides et exacts.

Comme pour la plupart des réformes utiles, le bénéfice des essais pratiqués aujourd'hui semblerait le résultat d'une facile entente, si l'on ne trouvait dans les ouvrages spéciaux le témoignage des oppositions plus ou moins réfléchies, plus ou moins intéressées qui longtemps entravèrent le bon vouloir des hommes de progrès.

M. Persoz a précisé par un chiffre l'importance du conditionnement. Dans le seul établissement placé sous sa direction et en dix années, de 1863 à 1872, les réductions de poids obtenues sur les soies conditionnées ont été de 28,851 kilogrammes, c'est-à-dire que sans l'épreuve à laquelle ces matières furent soumises, il eût été vendu comme soie 28,851 kilogrammes d'eau représentant une perte d'environ trois millions de francs. Ces différences peuvent résulter uniquement de l'état atmosphérique; elles ne représentent pas à beaucoup près la proportion des surcharges hygrométriques auxquelles se laissaient fréquemment entraîner autrefois des commerçants peu scrupuleux. Si l'on remarque que quarante établissements du même genre existent dans les principales villes industrielles du continent européen, il est possible d'apprécier le rôle moralisateur du conditionnement.

Les appareils Talabot, perfectionnés par M. Persoz père, et construits par M. Rogeat, d'où le nom de dessiccateurs Talabot-Persoz-Rogeat, constituent le type généralement adopté dans notre pays. M. Jules Persoz décrit, à l'aide de figures intercalées dans le texte, les diverses transformations de ces dessiccateurs, les modifications apportées en Italie aux mêmes appareils, les dispositions imaginées pour les besoins de l'industrie privée. Quelques établissements, particulièrement soucieux de la régularité de leurs produits, recourent, en effet, au conditionnement, afin de contrôler le titre des fils à diverses périodes de la fabrication.

L'auteur indique les précautions prises, à la Condition de Paris, pour se prémunir contre les chances d'erreur, lors du prélèvement des échantillons qui servent à établir la proportion d'humidité contenue dans chaque balle, lors du pesage de ces échantillons avant et après

dessiccation à l'absolu, de manière à calculer rigoureusement la *reprise légale*, ou *quantum* d'humidité admis légalement.

Hâtons-nous de dire que les hommes compétents placés à la tête des autres établissements publics de conditionnement ne surveillent pas moins attentivement les détails de ces manutentions délicates. Il arrive, cependant, que des essais comparatifs ne donnent pas des résultats identiques. Ces anomalies, quelque peu considérables qu'elles soient, se trouveraient sans doute évitées, si les directeurs des diverses Conditions étaient autorisés à s'entendre sur la rédaction d'un règlement intérieur qui deviendrait la loi commune.

Depuis quelques années, la détermination de l'état hygrométrique des fils a fourni des indications inattendues. Le commerce des soies, sollicité par les exigences du bon marché, accepte comme une opération régulière la *surcharge*, c'est-à-dire la pénétration des fibres par des liquides de nature à en augmenter le poids et le volume. Lorsque cette surcharge n'est pas exagérée, le conditionnement n'altère pas l'élasticité et la ténacité de la matière. Dans le cas contraire, notamment pour certains noirs chargés à trois cent pour cent du poids primitif, les filaments semblent tuméfiés et la désagrégation qui résulte de l'étuvage provoque parfois, à la sortie du dessiccateur, des combustions spontanées.

La seconde partie de l'ouvrage est consacrée au *titrage des soies*. De petits ateliers ou bureaux d'essais, établis de longue date dans les principaux centres de l'industrie séricicole, fournissaient et fournissent encore au commerce des indications sur le titre et la régularité des fils. Mais les opérations des essayeurs privés ne se trouvant soumises à aucun contrôle, les résultats variant selon la précision des instruments employés et l'habileté des expérimentateurs, il a paru utile de rattacher aux bureaux de conditionnement un service d'essais qui offre le double avantage d'une méthode régulière et d'un conditionnement facultatif. Nous ne parlons pas du mode de payement qui a, cependant, son importance, car les *essais privés*, rémunérés par le prélèvement du fil nécessaire aux épreuves, constituent pour le vendeur une lourde charge, s'ils sont répétés, et jettent sur le marché quantité de petites parties de soie dont il est difficile de constater l'origine.

Après avoir motivé la création des bureaux officiels, M. Persoz décrit les opérations du dévidage des soies ouvrées et des grèges. L'au-

teur insiste justement sur les soins à prendre pour éviter un déchet anormal et indique les défauts dont il doit être tenu note au cours des épreuves.

L'énumération des principaux types de soie précède l'étude comparée des divers *deniers* qui servent encore de bases au titrage de la soie. Tout en s'élevant fortement contre un système qui n'a pour lui ni la simplicité des calculs, ni l'uniformité des poids ou des longueurs, l'auteur a dû compter avec des habitudes fortifiées par le temps et dresser une table de conversions, où se trouvent juxtaposés les titres anciens et les numéros nouveaux correspondants, basés sur le poids en grammes du myriamètre.

Sous peine de parler un langage inintelligible pour la plupart de ses lecteurs, M. Persoz ne pouvait se soustraire à cette nécessité, mais nous eussions souhaité qu'à son tour il ne se laissât pas influencer par l'usage, lorsque, traitant des limites de finesse entre lesquelles oscillent les soies les plus employées, il se borne à indiquer le titre en deniers.

Le chapitre du titrage se termine par la revue des caractères généraux des principales soies et par la description des appareils destinés à en mesurer la ténacité, l'élasticité et la torsion.

Le conditionnement, nous l'avons dit, indique l'état hygrométrique de la soie et, dans des circonstances particulières, révèle l'abus des surcharges; le titrage renseigne sur la finesse et la régularité des fils; mais il est, en outre, nécessaire de connaître la proportion de matières étrangères qui, trop souvent, sont introduites dès les premières manutentions de la filature.

« L'expérience montre — écrit M. Persoz — que la soie, au lieu
« d'éprouver par le *décreusage* une diminution de poids de 17 à
« 25 pour cent au plus, selon son pays d'origine, perd quelquefois
« jusqu'à 30 et 40 pour cent, voire même davantage par suite de la
« charge qu'elle a reçue, lors de l'ouvraison. »

Le *décreusage officiel* a pour but d'établir l'importance de ces fraudes qui se remarquent surtout dans les soies exotiques. Des raisons analogues à celles qui avaient déterminé l'annexion aux Conditions publiques de bureaux de titrage, ont motivé l'adjonction à ces mêmes établissements d'ateliers spéciaux de décreusage.

Ne se limitant pas aux détails de l'opération réglementaire, M. Persoz

nous fournit des renseignements très complets sur les procédés industriels de la France et des autres pays pour débarrasser la soie, à des degrés divers, de la gomme ou grès qui l'enrobe.

La dernière partie du volume est consacrée au conditionnement et au titrage des matières autres que la soie, notamment de la laine, du coton, du lin, du chanvre et du jute.

Depuis 1851, la laine est conditionnée officiellement, les essais des autres textiles sont plutôt officieux ; du moins, les taux de reprise n'ayant pas été fixés légalement, résultent de conventions particulières ou d'usages. M. Persoz prouve par des chiffres que, pour le coton et le lin comme pour les soies et les laines, l'opération présente de sérieux avantages.

L'habile chimiste qui, dès 1862, présentait à l'Académie des sciences une intéressante communication sur la solubilité de la soie dans le chlorure de zinc, termine par l'indication de méthodes permettant de distinguer entre elles les fibres les plus employées par le tissage.

Vous le voyez, Messieurs, le titre de l'œuvre ne donne qu'une idée incomplète du nombre et de l'importance des questions étudiées dans l'*Essai sur le conditionnement* avec une compétence toute spéciale. La publication, dont M. Persoz a enrichi notre bibliothèque, constitue un recueil fort utile pour l'industrie et pour le commerce des textiles.

Paris. — Imprimerie E. Capiomont et V Renault, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1879)

N° 55

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Décès* de MM. Claudio Gil, Viollet-le-Duc, Durval, Levat et Pot, (séance du 3 octobre, page 884).

2° *Saint-Gothard* (Tunnel du), (séance du 3 octobre, page 887).

3° *Patinage des roues de Locomotives* (Lettre de M. Pascal), (séance du 3 octobre, page 893).

4° *Machines nouvelles de la filature et du tissage à l'Exposition universelle de* 1878, par M. E. Simon, (séance du 3 octobre, page 894).

5° *Docks et Entrepôts de la ville de Marseille*, par M. Duteil, (séance du 3 octobre, page 894).

6° *Déphosphoration*. Lettre de M. Garnier (Jules), (séance du 17 octobre, page 906).

7° *Métallurgie du fer*, (séance du 17 octobre, page 908).

8° *Habitations ouvrières exposées en* 1878, par M. Cacheux, (séance du 17 octobre, page 908).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Avril, membre de la Société, un exemplaire de la traduction qu'il a faite de l'ouvrage de M. Lessar, sur la *Construction des chemins de fer en temps de guerre, par l'armée russe, pendant la campagne de* 1877-1878.

De M. Rubin, membre de la Société, une analyse de l'ouvrage ci-dessus.

De M. Colladon, membre de la Société, un exemplaire des *Rapports trimestriels nos 14 et 16 du Conseil fédéral Suisse, sur la marche de l'Entreprise de la ligne du Saint-Gothard*, et un exemplaire de la notice, sur les *Contributions à l'étude de la grêle et des trombes aspirantes.*

De M. Ferdinand de Lesseps, membre de la Société, un exemplaire du *Compte rendu des séances du Congrès International d'études du canal Interocéanique.*

De M. Timmermens, ingénieur, un exemplaire de son étude sur les *Machines d'Extraction à détente.*

De M. Hanrez, membre de la Société, une note sur son système *d'accrochage des voitures par les trains en marche et la suppression des arrêts des trains de voyageurs.*

De M. Claudel, membre de la Société, une note sur l'*Amélioration des rivières.*

De M. Dejey, membre de la Société, un exemplaire de l'ouvrage de MM. Georges Gerbelaud et Georges Dumont sur le *Génie civil et les Travaux publics à l'Exposition universelle de* 1878.

De Son Excellence le ministre de la Marine et des Colonies, un exemplaire de l'ouvrage publié par son ordre, sur la *Marine à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Duval, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur des Travaux de l'Exposition universelle de 1878, un exemplaire des *Dessins autographiés des charpentes métalliques et des principales constructions élevées au Champ de Mars et au Trocadéro, pour l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Krantz, commissaire général de l'Exposition universelle, huit

volumes des *Comptes rendus sténographiques des Congrès et Conférences qui ont eu lieu pendant l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Thurston, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Friction and Lubrication, determinations of The laws and coëfficients of friction by new Methods and with new apparatus.*

De M. Charles Lucas, membre de la Société, un exemplaire de sa conférence faite au Trocadéro, le 2 septembre 1878, sur l'*Habitation à toutes les époques.*

De M. Helson (Charles), membre de la Société, un exemplaire de son mémoire à l'appui du projet d'un *Établissement métallurgique à fonder dans Paris.*

De M. Schmoll, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Uber Erd-Berechnungsmethoden und über Hilfstabellen zur Berechnung der Querschnittsflächen von auf-und abtragen.*

De Son Excellence le ministre des Travaux Publics, un exemplaire du rapport de la Commission supérieure pour l'*Aménagement et l'utilisation des eaux.*

De M. Cacheux, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Moyens pratiques de remédier à la cherté des loyers des classes laborieuses dans Paris et aux environs.*

De M. Chapman, membre de la Société, une collection du *Journal of the Society of Art*, années 1867 à 1879.

De M. Faure-Beaulieu, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur le *Travail de la laine peignée* à l'Exposition universelle de 1878.

Académie royale des Lincei, son bulletin.

Academia di Scienze, Lettere ed Arti, son bulletin.

Academy american of arts and sciences, son bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne.

Annales industrielles, par Cassagne.

Annales des ponts et chaussées.

Annales des mines.

Annales du Génie civil.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.

Annales de la construction (Nouvelles), par Oppermann.

Annales des chemins vicinaux.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, son bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, son bulletin.

Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, son bulletin.

Association des Ingénieurs industriels de Barcelone, son bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine.

Canadian Journal of science, litterature, and history.

Chronique (La) *industrielle*, Journal technologique hebdomadaire.

Comité des forges de France, son bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Courrier municipal (Journal).

Dingler's Polytechnisches (Journal).

Écho Industriel (Journal).

Économiste (*L'*) (Journal).

Encyclopédie d'architecture.

Engineer (*The*) (Journal).

Engineering (Journal).

Engineering News an Illustrated Weekly (Journal) (de Chicago).

Gazette des Architectes (*La*).

Gazette du Village (*La*).

Institution of civil Engineers, leurs *Minutes of Proceedings.*

Institution of Mechanical Engineers, son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, leurs *Transactions.*

Iron of science, metals et manufacture (Journal).

Iron and Steel Institute (*The Journal of The*).

Journal d'Agriculture pratique.

Journal of The Society of Arts.

Journal des Chemins de fer.

Houille (*La*) (Journal).

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, leur bulletin.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, son bulletin.

Mondes (*Les*) (Revue).

Moniteur des chemins de fer (Journal).

Moniteur industriel belge (Journal).

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture (Journal).

Moniteur des travaux publics (Journal).

Of the American Society of Civils Engineers (Journal).

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Journal).

Politecnico (*Il*) *Giornale dell' ingegnere Architetto civile ed industriale.*

Portefeuille économique des machines, par Oppermann.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, leur bulletin.

Propagateur (*Le*) *de l'Industrie et des Inventions* (Journal).

Réforme économique (Revue).

Revue métallurgique (*La*) (Journal).

Revue des chemins de fer et des progrès industriels.

Revue maritime et coloniale.

Revue d'architecture.

Revista de obras publicas.

Revue des Deux-Mondes.

Revue horticole.

Revue générale des chemins de fer.

Revue technique polonaise.

Revue universelle des mines et de la métallurgie.

Revue des Industries chimiques et agricoles.

Semaine des constructeurs (*La*) (Journal).

Semaine financière (Journal).

Société de Physique, son bulletin.

Society of télégraph Engineers (Journal of the), leur bulletin.

Société des Ingénieurs anglais, leurs *Transactions*.

Société industrielle de Reims, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société industrielle de Mulhouse, son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, son bulletin.

Société d'encouragement, son bulletin.

Société de géographie, son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, son bulletin.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, son bulletin.

Société scientifique industrielle de Marseille, son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, son bulletin.

Société royale des Sciences de Bohême (à Prague), son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, Revue périodique.

Société industrielle de Rouen, son bulletin.

Société technique de l'Industrie du gaz en France, son bulletin.

Société des Études coloniales et maritimes, son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, son bulletin.

Société de géographie de Marseille, son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu.

The Franklin Institute (Journal).

Union des charbonnages, mines et usines métallurgiques de la province de Liége, son bulletin.

Union des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de l'Université catholique de Louvain, son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois d'octobre :

MM. Barbier, présenté par MM. Loustau, Mesdach et Orsat.
Baril, présenté par MM. Dailly, Géneste et Jouvet.
Chéron, présenté par MM. Lecœuvre, Pihet et Tresca.
Clerc, présenté par MM. Durenne, Farcot J. et Ledeuil.
Faivre, présenté par MM. Armengaud aîné fils, Leneveu et Suc.
Guary, présenté par MM. Barrault, Hallopeau et Peligot.
Guillemant, présenté par MM. Carimantrand, Millet Jules et Moreau Auguste.
Mencière, présenté par MM. Grégory, Rancès et Roques.
Mendiola, présenté par MM. Courras, Peligot et Paul Dubos.
Robert, présenté par MM. Lecocq, Kowalski et Richard.
Rocour, présenté par MM. Gottereau, Huet et Pernolet.
Sevin, présenté par MM. Douau, Mallet (Anatole) et Mignon.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

V[e] BULLETIN DE L'ANNÉE 1879

Séance du 3 Octobre 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1[er] août est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Durval, Gil Claudio, Levat, Pot et Viollet-Le-Duc.

M. RICHARD. Vous venez d'entendre prononcer le nom de Claudio Gil, parmi ceux des Membres décédés depuis notre dernière réunion; je vous demande la permission de vous dire quelques mots sur ce camarade regretté; M. Maire, notre collègue, et ami intime de Gil, qui était son camarade de promotion, aurait voulu vous les dire lui-même; mais ne pouvant venir ce soir, il m'a prié de le remplacer.

Claudio Gil est de la promotion de 1849. A sa sortie de l'École, il entra au bureau d'Études du très illustre et regretté Maître et Fondateur de notre Société, Eugène Flachat.

Gil sortit de ce bureau, d'où sont sortis tant de nos camarades éminents, pour aller en Espagne avec notre collègue Deligny, à la construction du chemin de fer de Langrèo, dans les Asturies. Il se livra ensuite à des recherches métallurgiques, et accompagna encore Deligny à l'exploitation des mines situées dans la province de Huelva, devenues si importantes aujourd'hui et dont il a été souvent question dans nos séances.

Gil s'occupait, en même temps que de ces différentes affaires, de la fabrication du sucre de betteraves, et surtout de l'industrie du gaz; et depuis longues années, il était Ingénieur en chef de la Société Catalane du gaz de Barcelone. C'est dans cette situation que la mort est venue le frapper, le 1[er] septembre, sans que rien pût faire prévoir une fin aussi inattendue.

Nous venions de le voir, au mois de mai dernier, à la fin d'une tournée que nous, membres de la conférence des Chemins de fer, nous venions de faire en Espagne, et il nous avait accueillis, à la tête de nos camarades, résidant comme lui, à Barcelone, avec une bonne grâce et un entrain qui ne laissaient pas soupçonner la maladie. Claudio Gil avait passé à Paris tout le temps du siège; il aimait la France comme son pays, et il croyait acquitter une dette de reconnaissance en aimant la France où il était venu chercher les connaissances qui avaient fait de lui un Ingénieur distingué.

Claudio Gil vous aimait surtout, Messieurs, et aimait l'École centrale. Vous en aurez bientôt une preuve touchante, car ses dernières paroles ont été pour nous. Il est mort, en pleine connaissance, recommandant à son frère de faire à la Société des Ingénieurs civils, un don de 5,000 francs, à l'Association amicale des anciens élèves de l'École, un don de 5,000 francs, et à la reconstruction de l'École, un don de 5,000 francs. Ces dons vous seront officiellement annoncés par la famille, dans quelques jours.

Vous voyez, mes chers collègues, que j'avais raison de dire que Claudio Gil vous aimait. Je n'ai pas voulu faire ici une Notice nécrologique qui sera faite plus complète au *Bulletin de l'Association amicale*, mais j'ai cru qu'en vous annonçant la mort de notre cher camarade, il était bon et juste de dire devant vous, qu'il avait toutes les qualités d'un cœur dévoué et généreux unies à celles de l'Ingénieur qui s'est fait apprécier par de nombreux et importants travaux.

M. Bourdais croit se rendre l'interprète de la Société des Ingénieurs civils, en disant qu'elle perd, en la personne de M. Eugène Viollet-le-Duc, un de ses membres les plus illustres.

Pour retracer la vie de travail de cet éminent architecte, judicieux constructeur et ingénieur par ses tendances rationalistes, sinon par ses études premières, il faudrait passer en revue les monuments de la période romaine et de la période gothique parsemés sur toute l'étendue du sol français, et dont la plupart ont été conservés ou restaurés par ses soins directs ou d'après ses habiles conseils.

L'abbaye de Saint-Denis, Notre-Dame de Paris, le château de Pierrefonds sont les œuvres principales de cet éminent archéologue, de ce savant artiste.

Je laisse à d'autres et dans d'autres enceintes, le soin de parler avec tout le respect qui lui est dû, de l'artiste, de l'architecte; mais ce qu'il convient de mentionner ici, c'est que Viollet-le-Duc, ancien membre du Comité de la Société des Ingénieurs civils, professait pour l'étude des sciences appliquées un culte profond, qu'il ne pouvait comprendre l'architecture comme un art pur dépourvu de science, et qu'il regardait au contraire les études de l'ingénieur-constructeur, comme la base indispensable de l'éducation des architectes. Le concours chaleureux qu'il sut prêter à notre collègue M. Trélat, lors de la formation de l'École spéciale d'architecture, est la preuve la plus évidente de cette conviction de son esprit.

Le sympathique accueil et les conseils généreux que recevaient chez lui

les jeunes ingénieurs désireux d'étudier les choses de l'art, me font un devoir de lui porter ici et en leur nom et au mien en particulier, un juste tribut de reconnaissance et de regrets.

M. Jordan ne veut pas laisser passer l'annonce des décès de MM. Durval et Levat sans rendre à leurs mémoires un hommage que méritent les services qu'ils ont rendu à l'industrie; il espère qu'un membre de la Société pourra ultérieurement signaler ces services dans des Notices nécrologiques mieux qu'il ne peut le faire maintenant.

La Société des Ingénieurs civils vient de perdre un de ses membres les plus anciens et les plus dévoués, M. Charles Pot, mort à Nice, le 23 août 1879, à l'âge de 65 ans.

Entré à l'École centrale, en 1839, avec des connaissances pratiques déjà développées (il était conducteur des Ponts et Chaussées), Pot y acquit rapidement la science de l'Ingénieur. Sorti de l'École avec le premier diplôme de « constructeur », il fut chargé par le regretté M. Mary, d'études importantes relatives au canal de l'Ourcq. Lors de la construction du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, M. Flachat se l'adjoignit comme chef de service et collaborateur. En 1846, il entrait dans la maison Séguin, qui lui confiait l'exécution du chemin de fer de Montereau à Troyes.

Fort de l'expérience acquise dans ces premiers travaux, Pot s'associa en 1848 à son camarade de promotion M. Mauss, pour soumissionner les grandes entreprises projetées dans le Midi. C'est à partir de cette date qu'il exécuta les nombreux travaux dont nous ne pouvons donner qu'une liste succincte.

1849-51. — Travaux du canal de Marseille.

1851-53. — Travaux de routes en Algérie. — Pont sur la « Chiffa. »

1853-54. — Port de Bastia.

1855-57. — Chemin de fer d'Aix, à Rognac[1].

1859-60. — Travaux du Château-Borelly, à Marseille.

1862-64. — Chemin de la Corniche; travaux du quai de la Joliette, à Marseille. — Chemin de fer d'Agde, à Pézénas. — Percement du Cours Lieutaud, à Marseille.

1866-70. — Travaux d'accès de la Préfecture; Gare du Sud; à Marseille.

1870-75. — Chemin de fer de Cavaillon, à Salon. — Viaduc sur la Durance, à Orgon. — Chemin de fer de Cavaillon, à Pertuis.

A la suite de ces derniers travaux, Pot ressentit les premières atteintes de la maladie qui devait l'emporter. C'est auprès de son fils (promotion 1871), à Nice, où il avait espéré pouvoir rétablir sa santé compromise, que la mort est venue l'enlever à l'affection de sa famille et de ses amis.

A tous ceux qui l'ont connu, il laisse le souvenir d'un caractère franc et énergique, d'un esprit droit et pratique, d'un cœur bon et loyal.

1. Au début de cette entreprise, M. Mauss mourut du choléra, et fut remplacé par son frère, M. Ch. Mauss.

Il est donné lecture d'une lettre de M. Colladon, par laquelle il rappelle que M. J. Gaudry a fait, à la séance du 18 juillet dernier, une intéressante communication sur les travaux du tunnel du Saint-Gothard.

Ce rapport, en parlant des compresseurs à air installés aux deux extrémités du tunnel, contient un paragraphe d'après lequel il semble qu'il y a actuellement, aux chantiers d'Aïrolo et de Göschenen, deux systèmes distincts de compresseurs d'air dont l'un, le plus ancien, serait celui de mon invention, et dont le plus récent serait d'un autre système; celui de MM. Escher Wyss et Cie, de Zurich. Il est dit, en effet, dans ce paragraphe (page 222) : « Les anciennes batteries du système Colladon sont à « trois cylindres, dits à grande vitesse avec turbines Girard, de 2 m. 50. « Les nouvelles batteries du système Escher sont à deux cylindres avec « turbines ayant 5 mètres de diamètre. »

Il est facile de démontrer que dès les essais faits, en 1873, à Göschenen et à Aïrolo avec les premiers groupes des compresseurs de mon système, l'entrepreneur du tunnel les avait adoptés d'une manière définitive, et qu'aujourd'hui encore les très nombreux compresseurs qui fonctionnent aux deux extrémités du tunnel du Gothard *sont tous, sans aucune exception, construits d'après mes indications et d'après mon système.*

Le département des chemins de fer de la Confédération helvétique, en autorisant les projets pour le percement du grand tunnel, s'en est réservé la surveillance et le droit de contrôler et de publier, sous la direction de son ingénieur technique préposé à la surveillance de ces travaux, tous les détails principaux relatifs aux installations, mécaniques et autres, établies par l'entreprise, et d'en donner communication aux puissances qui ont coopéré à la subvention.

A cet effet, ce département publie chaque année quatre rapports trimestriels soigneusement vérifiés, dont la plupart sont enrichis de planches. Depuis 1872 jusqu'à cette année, cette publication s'est faite sous la surveillance d'un ingénieur bâlois, M. le directeur technique fédéral, G. Koller, ancien élève de l'École centrale.

Le *Rapport trimestriel n° 5*, publié en 1874, qui renferme neuf planches, a donné une description exacte et détaillée des compresseurs de mon système qui ont été établis et mis en activité, dès 1873, aux deux extrémités sud et nord du tunnel. Il compare les effets de ces compresseurs avec les résultats obtenus aux deux extrémités du mont Cenis, par l'usage des compresseurs à béliers de MM. Sommeiller, Grandis et Grattoni, et par celui des compresseurs à piston d'eau qui, en 1863, furent substitués à ces béliers. Ce rapport contient encore la description des turbines établies par MM. Escher Wyss et Cie à l'extrémité sud (roues tangentielles utilisant une chute de 180 mètres), et de celles établies par MM. Roy, du côté nord (système Girard, utilisant une chute de 90 mètres). On y trouve enfin les dérivations remarquables et les dépotoirs que M. Favre a fait exécuter pour obtenir une force motrice de huit cents à mille chevaux, pendant les belles eaux, par l'emploi des chutes de la Tremola et de la Reuss.

J'ai envoyé, en 1874, cet intéressant *Rapport trimestriel n° 5*, à la Société des Ingénieurs civils.

M. Favre avait acheté au Creuzot, à la fin de 1872, deux locomotives à vapeur de douze chevaux chacune, pour faciliter les transports. La grande quantité d'air que fournissaient mes compresseurs à la pression de 8 atmosphères absolues, et le coût excessif de la houille à la hauteur où se perce le tunnel, lui inspirèrent le désir de remplacer la vapeur par l'air comprimé. Chacune des locomotives fut attelée à un tender, surmonté d'un réservoir qui recevait l'air comprimé de la conduite principale, et pendant une année cette installation put suffire aux transports des déblais et des matériaux. A la fin de l'année 1873, M. Favre ayant commandé de nouvelles locomotives à air, me demanda de faire établir des compresseurs pour 14 atmosphères. J'ai fait cette étude en m'aidant des conseils de mon ami M. Théodore Turrettini, directeur de la Société génevoise de construction, dans les ateliers duquel j'avais fait construire, dès juillet 1871, des compresseurs de mon système. A la suite de ces études, M. Louis Favre me chargea de commander à la Société génevoise huit compresseurs de 14 atmosphères, quatre pour Aïrolo et quatre pour Göschenen.

Ces compresseurs ont été livrés et mis en activité, du 1er décembre 1874 au 1er mars 1875. Ils ne diffèrent de mes premiers compresseurs que par quelques perfectionnements de détail apportés à la disposition des soupapes, à la forme des bouches d'injecteurs destinés à lancer l'eau pulvérulente à l'intérieur du cylindre, et à la réduction au minimum, par une disposition spéciale, des espaces neutres aux extrémités du cylindre. Tous les connaisseurs qui ont examiné ces appareils, qui fonctionnent sans interruption depuis près de cinq années, ont été frappés de leur excellent rendement, de leur parfaite exécution, du jeu sûr et régulier de leurs soupapes, de la facilité avec laquelle on règle la température de l'air comprimé et du peu de frais d'entretien qu'ils nécessitent. Ils peuvent comprimer l'air directement de 1 à 14 atmosphères sans que la température de cet air s'élève de plus de 15 à 20 degrés. On peut aussi, par une disposition très simple, réunir à volonté les soupapes d'aspiration avec la conduite d'air destinée à la perforation, et leur faire aspirer de l'air à 7 ou 8 atmosphères, de manière à augmenter beaucoup le volume de l'air comprimé à haute tension.

J'ai l'honneur d'envoyer à la Société le *Rapport trimestriel n° 16*, dans lequel se trouve la description détaillée de ces compresseurs pour 14 atmosphères, avec une planche qui représente leurs sections et la position de leurs soupapes, et des notes explicatives sur leur fonctionnement théorique qui m'avaient été demandées par le département Fédéral des chemins de fer.

Au commencement de 1876, M. Louis Favre, voulant accélérer les travaux du tunnel en établissant un plus grand nombre de chantiers de perforation mécanique, me demanda d'étudier avec M. Turrettini l'installation de huit grands compresseurs de mon système à répartir entre Aïrolo et

Göschenen pour les travaux de perforation et l'aérage. La Société génevoise de construction a été chargée de la livraison de ces huit compresseurs.

Quant aux moteurs hydrauliques destinés à les faire mouvoir, nous avons naturellement conseillé d'en confier l'exécution à MM. Escher Wyss et Cie, de Zurich, qui avaient construit, en 1873, les remarquables turbines d'Aïrolo pour la chute de 180 mètres de la Tremola et, en 1874, des turbines supplémentaires pour utiliser une nouvelle dérivation du Tésin correspondant à une seconde chute de 90 mètres à Aïrolo. A la suite de nos conférences avec cette maison, il fut décidé de faire mouvoir directement, à Aïrolo et à Göschenen, ces grands compresseurs au moyen de turbines, système Girard, de 5 mètres de diamètre, dont l'arbre porterait à ses extrémités deux manivelles à angle droit.

Je joins à ma lettre, pour notre bibliothèque, le *Rapport trimestriel n° 14* (1876), qui contient une courte description de cette installation et une planche qui la représente[1].

Je suis donc en droit d'affirmer :

1° Qu'aujourd'hui, tous les compresseurs d'air qui existent pour les travaux du grand tunnel du Saint-Gothard sont établis d'après mon système;

2° Que tous les compresseurs d'air établis à Aïrolo et le tiers, ou un peu plus, de ceux établis à Göschenen, ont été fournis à l'entreprise par la Société génevoise de construction, et que les deux autres tiers environ des compresseurs à Göschenen avaient été exécutés, en 1873, par MM. Roy, de Vevey, d'après mes directions et les plans que je leur avais communiqués;

3° Que la totalité des turbines d'Aïrolo et une partie de celles de Göschenen ont été construites et établies par MM. Escher Wyss et Cie, de Zurich, et que les anciennes turbines du système Girard, à Göschenen, avaient été livrées en 1873 par la maison Roy.

Avant de terminer cette note, je crois devoir énumérer brièvement les principaux avantages économiques qui résultent pour l'entreprise de l'emploi de mes compresseurs.

1° *Économie de capital d'achat et d'établissement.* — On peut se rendre un compte exact de cette économie par les faits suivants et les devis fournis à l'entreprise par divers constructeurs.

Lorsque M. Favre fut reconnu adjudicataire, fin août 1872, il était déjà très favorable à l'emploi de mes compresseurs à grande vitesse et à injection d'eau pulvérulente, qui avaient été essayés devant lui dans les ateliers de la Société génevoise de construction; il savait qu'un compresseur du même système breveté, acheté en juillet 1871 par la Société de la Haute-Italie, fonctionnait quotidiennement à Turin depuis une année à cent ou

1. Le même numéro contient les dessins des locomotives à air du Creuzot et de l'ingénieux appareil détendeur du système de M. Léon Ribourt.

cent vingt révolutions par minute, ne demandant presque aucun entretien, et qu'il répondait complètement au but : *la compression rapide du gaz à haute tension pour l'éclairage de quelques trains de chemins de fer*, et qu'en outre l'administration belge des chemins de fer avait résolu, après examen, d'adopter les mêmes compresseurs. Néanmoins, pendant une visite faite à Liége aux perforatrices du système Dubois et François, l'entrepreneur eut l'occasion de voir à l'usine de Seraing des compresseurs à colonne et piston liquide, de construction déjà assez avancée, et disponibles. Désireux de commencer la perforation mécanique, il acheta deux de ces appareils pour s'en servir provisoirement en les actionnant chacun par une machine à vapeur de cinquante chevaux[1].

En Suisse, à la fin de 1872, des constructeurs de Vevey, MM. Roy et Cie, sollicitaient l'entrepreneur pour obtenir la commande de trois turbines à Göschenen et offraient aussi d'établir, à leurs risques et périls, des compresseurs à piston d'eau, comme ceux du mont Cenis, dont ils conseillaient l'emploi.

A la suite de pourparlers, M. L. Favre demanda à cette maison deux devis comparatifs pour la fourniture d'un même volume d'air mis en réservoir, sous la même pression; savoir : 12 mètres cubes par minute sous la tension de 8 atmosphères absolues. L'un de ces devis devait être rédigé *pour l'emploi des pompes à piston d'eau*, l'autre devis calculé pour une fourniture d'air égale, *en utilisant mes compresseurs à grande vitesse*, dont je devais communiquer à MM. Roy et Cie les dispositions et leur fournir des plans explicatifs.

Dans les deux cas, le pouvoir hydraulique dépensé devait être le même.

Ces devis ont été livrés à M. Favre, le 9 décembre 1872, et ils se résumaient en une économie de 164,000 francs en faveur de l'emploi de mon système.

Peu de temps après, la commande des trois turbines et de douze cylindres compresseurs à grande vitesse pour Göschenen fut adjugée à la maison Roy et Cie.

Si l'on considère que, depuis 1873, l'installation de nouveaux groupes de compresseurs commandés en 1876 pour Göschenen et pour Airolo à la Société génevoise de construction, a plus que doublé la puissance d'air disponible, on conclura que, pour les deux bouches du tunnel, l'économie totale, *pour le seul capital d'achat de compresseurs à air*, dépasse 600,000 francs, par la préférence donnée à mes pompes.

2° A cette économie dans le prix d'achat, on doit ajouter celle de *la réduction de l'étendue des bâtiments* où sont logés les compresseurs. Cette économie s'élève à 80 ou 90 pour 100, et même au delà. On peut s'en con-

1. Les compresseurs de Seraing mus d'abord par la vapeur, ont été mis en action, plus tard, dès 1873, par des moteurs hydrauliques. Après avoir servi quelques années d'une manière intermittente, ils ont dû être vendus récemment parce qu'ils occupaient une place excessive, comparativement à leur effet utile.

vaincre en examinant le tableau comparatif de la page 21 du *Rapport trimestriel n° 5* [1]; proportionnellement à leur puissance comprimante, les machines de Seraing occupaient dix fois plus de place que mes compresseurs; les installations de Bardonnèche, onze fois. *La dépense en bâtiments pour loger les compresseurs aurait été environ dix fois plus forte avec les compresseurs à piston d'eau*, et la place eût complètement fait défaut à Göschenen, où l'espace concédé à l'Entreprise par la Compagnie pour les installations, les magasins, bureaux, ateliers mécaniques, chambres des turbines et des compresseurs, voies de circulation, etc., est exigu et tellement circonscrit par des rochers à pic et le torrent, que le nombre voulu de compresseurs à piston liquide pour obtenir la quantité d'air exigible pour un achèvement rapide du tunnel, aurait eu peine à s'y loger.

3° Enfin l'état actuel des travaux démontre que *l'on aurait pu économiser le coût des quatre grandes cloches aspirantes, de leurs installations et moteurs, des bâtiments qui les contiennent et des tuyaux métalliques de grande section suspendus aux voûtes aux deux embouchures*, si la Commission internationale, inquiète sur l'avenir de la ventilation, n'avait considéré, il y a quatre ans, leur installation comme une chose indispensable. Ces exigences étaient basées sur ce que, au tunnel du Fréjus, huit années avant la rencontre des deux galeries d'avancement, on avait été contraint d'établir à chaque bouche de vastes engins d'aspiration pour protéger la santé des ouvriers.

Aujourd'hui, 29 septembre, il y a 14,003 mètres de percés, les deux extrémités seront réunies en février prochain, et cependant la ventilation par les compresseurs de mon système a été suffisante. Les cloches d'aspiration sont demeurées jusqu'ici inutiles.

Ce fait seul pourrait suffire pour constater l'utilité des résultats qui ont été acquis pour l'entreprise par suite de la décision prise, en 1873, par M. Louis Favre, d'adopter l'emploi exclusif de mes compresseurs pour l'exécution du tunnel du Saint-Gothard.

M. Gaudry répond qu'ayant à relater les deux types de compresseurs d'air employés au tunnel du Gothard, savoir, le premier à 3 cylindres et l'autre à 2 cylindres avec grande turbine, il les a désignés par le nom qu'il a lu sur le bâti des machines, sans aucune idée d'attribution d'invention, ayant même soin d'observer que les unes comme les autres, sauf les dimensions et variantes de détails, appartiennent au même principe dont l'honorable M. Colladon a été notoirement le promoteur.

1. Tableau de la superficie en bâtiments des compresseurs nécessitée avec divers systèmes de pompes de compression pour un mètre cube aspiré par minute :

Système à piston d'eau.

Bardonnèche : 24^{mc},34 ; Modane : 16^{mc},59 ; Compresseurs provisoires de Seraing : 21^{mc},55.

Système Colladon.

Gœschenen : 2^{mc},24 ; Airolo : 2^{mc},05.

(*Compte rendu trimestriel*, n° 5, p. 21.)

M. Gaudry n'a pas omis de dire que l'air comprimé par machines hydrauliques était seul employé aujourd'hui comme force motrice au Gothard, non seulement pour les perforateurs et les locomotives servant aux transports, mais même aux marteaux-pilons de M. Farcot dans les ateliers de réparation du matériel.

A part l'observation sur l'auteur réel des compresseurs, la note de M. Colladon confirme la communication que M. Gaudry a faite à la Société sur les travaux du Gothard.

M. Gaudry est heureux de l'occasion qui lui est donnée de faire lui-même une rectification qui importe à la mémoire de M. l'entrepreneur Favre, dont M. le Président a annoncé le décès à la dernière séance : il avait été dit à M. Gaudry que l'entrepreneur avait eu dans sa grande œuvre des circonstances locales relativement favorables. Il résulte des renseignements que vient de lui transmettre M. Colladon, que bien au contraire il n'y a sorte de difficultés qui ne soient venues mettre à l'épreuve le courage et le génie de M. Favre : exigences administratives, difficultés diplomatiques, charges imprévues, grèves d'ouvriers, rien ne l'a épargné, pas plus que les irruptions d'eau. Au mont Cenis on s'était plaint d'infiltrations débitant 1 litre par seconde; au mont Hoosac, en Amérique, on avait regardé comme un désastre un volume d'infiltrations de 18 litres par seconde; au Gothard du côté sud on a eu l'irruption subite d'un torrent de 800 mètres cubes par heure avec entraînement de boue et de cailloux, dans une galerie de moins de 7 mètres carrés de section, la pente imposée à M. Favre était de un millième.

Les terrains ont parfois exercé des poussées terribles. Au piquet 28 du côté de Göschenen la maçonnerie de la voûte et des pieds-droits a dû être refaite trois fois, et enfin portée à près de 3 mètres d'épaisseur.

Parmi les questions techniques sur lesquelles il a fallu discuter longtemps, il y a eu celle de savoir s'il fallait percer la galerie d'avancement à la base ou au sommet de la voûte. Au mont Cenis on avait attaqué celle-ci par la base. M. Favre a tenu à attaquer par la voûte au Gothard et il recommandait, paraît-il, comme principe, de pratiquer ainsi dans le creusement des grands tunnels.

En résumé M. Favre, par des procédés nouveaux et par la belle organisation de ses chantiers, a si habilement mené son œuvre, que malgré ces difficultés elle sera terminée avant l'époque promise, sans qu'il ait pu, plus que l'ingénieur du mont Cenis, en voir le terme si prochain.

Il faut donc rehausser encore le mérite de cet homme de génie, à la mémoire duquel M. le Président a rendu hommage au nom de la Société des Ingénieurs civils de France[1].

1. A l'Exposition actuelle des Champs-Élysées sont exhibées les machines perforatrices de divers types, et les plans ainsi que les tracés graphiques, dessins de boisage, maçonnerie, voies de service, organisation des chantiers, etc. On ne saurait trop recommander leur étude.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. Pascal :

« Monsieur le Président,

« Dans la séance du 5 octobre 1877, M. Morandière a donné l'analyse d'une lettre adressée à M. le Président de la Société, par M. Desmousseaux de Givré, en réponse aux questions posées devant l'Académie des Sciences par M. Rabeuf, au sujet du patinage des roues de locomotives.

« M. Rabeuf disait, dans sa note, avoir constaté que le patinage est un phénomène général, et que le nombre de tours de roues que les locomotives font en patinant sur les pentes, pouvait être évalué, en moyenne, à 20 p. 100 du nombre de tours total.

« M. Desmousseaux de Givré admettant le patinage que M. Rabeuf dit avoir constaté, donne des explications qui tendent à démontrer dans quelles conditions doit se produire le patinage; et, prenant les causes du patinage comme problème à résoudre, il indique même des solutions à ce problème.

« Or, j'ai fait, d'après les ordres de M. Delebecque, Ingénieur chef du Matériel et de la Traction au chemin de fer du Nord, des expériences qui permettent d'affirmer que le patinage est loin d'avoir les proportions indiquées par M. Rabeuf. Ces expériences ont été faites en février et mars dernier, par un temps variable, mais plus particulièrement pluvieux et humide.

« Sur une locomotive à grande vitesse, à 4 roues accouplées de $2^{m},08$ de diamètre, a été installé un compteur de tours, prenant son mouvement sur une des pièces animées du mouvement alternatif. La locomotive munie de ce compteur a fait 36 trains, donnant un parcours total de 4528 kilomètres. La vitesse, à la descente des pentes de $5^{m}/_{m}$, variait entre 60 et 90 kilomètres à l'heure. Le nombre de tours de roues, calculé d'après le développement de la circonférence de contact, devait être, dans ce parcours, de 693,702 tours. Le compteur a accusé 694,096; soit 394 en plus ou 1 tour sur 1760; soit encore un tour par 11 kilomètres $\frac{4}{10}$.

« Le nombre de tours relevé à chaque station a été, dans la plupart des cas, un peu supérieur au nombre de tours calculé; dans quelques cas cependant, il a été un peu inférieur, ce dernier fait est évidemment dû à l'action retardatrice des freins et aussi à l'action retardatrice du mécanisme moteur, agissant comme frein lorsque, dans la marche à pleine vitesse, l'admission de la vapeur est complètement ou même partiellement interrompue.

« Dans le cours de ces expériences quelques cas de patinage bien connus se sont produits; ils ont eu lieu au démarrage et aux reprises de vitesse, quand on ouvre le régulateur en trop grande quantité.

« Des expériences plus précises pourront donner la mesure exacte de la valeur du patinage et de celle de l'action des freins; mais on peut dire dès maintenant avec certitude et d'une manière générale, que les locomotives, dans les limites de vitesse qu'on atteint ordinairement, ne patinent pas dans

des proportions plus élevées que celles connues et admises jusqu'à ce jour par les Ingénieurs des chemins de fer.

« Veuillez agréer, etc., etc.

« *Signé :* PASCAL. »

M. ÉDOUARD SIMON présente une *Étude sur les machines nouvelles de la filature et du tissage à l'Exposition universelle de* 1878. Chargé du rapport du jury des classes 56 et 57, qui sans doute sera prochainement publié, M. Simon n'a point voulu dans le présent travail, comme dans le compte rendu officiel, passer en revue tous les perfectionnements plus ou moins considérables réalisés depuis 1867; il a décrit un certain nombre de machines particulièrement intéressantes, exposées pour la première fois en 1878 ou suffisamment transformées durant la dernière période décennale pour devenir des appareils nouveaux.

Tels sont les peigneuses Emile Hübner, Little et Eastwood, Brenier et Cie, la repasseuse-étaleuse Masurel, la fileuse automatique Lawson, la cannetière G. Honegger et le métier à tisser automatique du même constructeur, la mécanique-cylindre Verdol et Cie. Ces descriptions sont accompagnées de nombreuses figures.

Avant de procéder à l'examen détaillé de chaque machine, M. Simon consacre une introduction générale aux progrès accomplis dans les traitements des matières textiles, et montre la part considérable de Michel Alcan dans l'indication et la vulgarisation des méthodes récemment adoptées.

L'analyse comparée des avantages et des inconvénients des deux principaux systèmes de métiers à filer, mule-jenny renvideur et continu, est suivie de considérations pratiques sur les causes qui limitent, dans notre pays, l'extension du tissage mécanique.

Cette étude est complétée par un tableau synoptique où se trouvent groupés, en ce qui concerne les industries textiles, les résultats des derniers recensements effectués en France, en Angleterre et aux États-Unis.

Se basant sur la statistique, M. Simon fait ressortir le bénéfice de la spécialisation dans l'industrie anglaise, les développements incessants des filatures et des tissages américains, et insiste sur la nécessité pour l'Europe de se créer des débouchés en rapport avec l'accroissement de la production universelle.

M. DUTEIL donne communication de son mémoire sur les Docks et Entrepôts de la ville de Marseille.

Ayant eu l'occasion, il y a quelques mois, de séjourner près de Marseille, je profitai de la circonstance pour étudier le Port et les Docks de cette ville, et, grâce au charmant accueil et à l'extrême obligeance de M. Barret, ingénieur, chargé de la partie technique des Docks, j'ai pu recueillir une certaine quantité de renseignements, de croquis et de plans qui, réunis et classés, m'ont fourni le sujet d'un rapport.

Sachant que la question des Ports et des Docks avait été souvent agitée devant la Société, j'ai pensé que ce rapport et les plans qui l'accompagnent pourraient avoir quelque intérêt pour elle.

Les Docks, Entrepôts et le nouveau Port de la ville de Marseille, ont été construits de 1856 à 1862. — Ils occupent les deux bassins du Lazaret et d'Arenc, qui offrent une surface d'eau de 14,832 mètres, plus, les quais de la digue extérieure, en face de ces bassins, le quai Nord du bassin de la Joliette et le quai Sud du bassin de la gare maritime. — La Compagnie des Docks est en outre concessionnaire des instruments de radoub, qui occupent toute la partie Sud du môle de l'abattoir. — Les 14,832 mètres de la surface énoncée plus haut se décomposent ainsi :

1° 1167 mètres pour les quais de transbordement;
2° 1504 mètres pour les cours charretières;
3° 10,220 mètres pour les magasins;
4° 1941 mètres pour les bureaux et les salles d'échantillons.

Tous les quais accostables sont munis de hangars utilisés pour la vérification des marchandises.

La surface totale de ces hangars est de 23,000 mètres carrés, ils sont bordés par des voies ferrées et charretières.

La surface totale des entrepôts est de 115,000 mètres (rez-de-chaussée et étage compris), le grand Entrepôt est un immense bâtiment à six étages desservis par vingt élévateurs et vingt descenderies à frein.

Les quais utilisables ont un développement de 3,165 mètres.

L'embarquement et le débarquement des marchandises se font au moyen de 38 grues hydrauliques fixes.

22 grues de 1 tonne.

16 grues pouvant fonctionner indifféremment à 1 tonne ou à 3 tonnes.

Les voies ferrées ont une longueur de 20 kilomètres, 170 plaques tournantes fonctionnent, un certain nombre de ces plaques seront munies dans l'avenir de petites machines hydrauliques.

Deux machines motrices servent à produire l'eau sous pression.

La construction des Entrepôts et des Docks de Marseille, a coûté environ 55,000,000 à 60,000,000 de francs.

Comme les appareils de manutention employés aux Docks sont séparés les uns des autres par des distances appréciables, et que le travail de ces appareils est intermittent, on a eu un avantage réel à se servir comme force motrice de l'eau sous la pression de 50 à 60 atmosphères.

Il y a deux manières d'obtenir l'eau sous pression.

1° Refouler, au moyen de pompes, de l'eau dans un réservoir placé à une certaine hauteur, de ce réservoir un réseau de conduites est chargé de distribuer l'eau à des appareils récepteurs destinés à utiliser la pression.

2° Refouler l'eau dans un accumulateur, c'est-à-dire dans un cylindre où se meut verticalement un plongeur chargé d'un poids donné.

C'est cette deuxième forme qui est employée aux Docks de Marseille. Les appareils récepteurs sont ceux de sir Arsmtrong.

Deux pompes (fig. 1) sont actionnées par une machine à vapeur; ces pompes S refoulent l'eau dans un accumulateur A chargé d'un poids mobile P. Ce poids équivaut à la pression qu'on aurait avec un réservoir placé à 500 mètres au-dessus des appareils; en un mot, ce poids ferait équilibre à une colonne d'eau de 500 mètres de hauteur.

L'accumulateur sert à emmagasiner une quantité de travail X et règle la marche de la machine motrice. Cette dernière se met d'elle-même en mouvement dès qu'un appareil commence à fonctionner, et elle s'arrête en même temps qu'eux; de cette façon, la force accumulée est pour ainsi dire une constante. Cette disposition constitue, en somme, un appareil de sûreté.

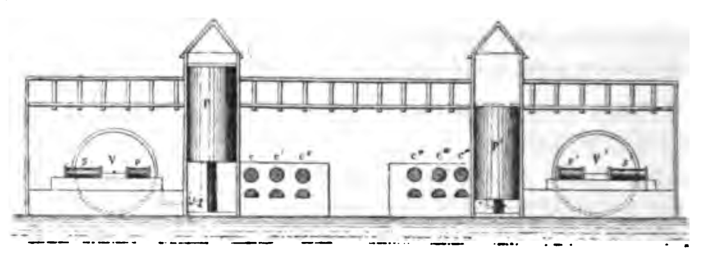


Fig. 1.

On obtient ce résultat en faisant communiquer (fig. 1) le poids P de l'accumulateur au moyen d'une chaîne avec l'extrémité d'un levier L muni d'un poids *p*; ce levier servant de clef à un robinet d'introduction I. Lorsque le poids mobile descend, c'est-à-dire lorsque les appareils fonctionnent, le robinet d'introduction s'ouvre de lui-même par la seule action du poids *p*, la machine motrice se met en mouvement et refoule dans l'accumulateur une quantité d'eau égale à la quantité dépensée; ce refoulement a pour effet de faire remonter le poids P, qui entraîne le contrepoids *p*, le robinet d'introduction se ferme et la machine s'arrête jusqu'au moment où, les appareils se remettant à fonctionner, le poids mobile descend de nouveau.

L'accumulateur est mis en communication avec les appareils par une conduite générale en fonte enterrée dans le sol pour éviter l'action des gelées.

Les tuyaux qui composent cette conduite ont les dimensions suivantes :

Longueur.	$2^m,75$
Diamètre intérieur.	$0^m,125$
Épaisseur.	$0^m,035$

Ces tuyaux sont en fonte de deuxième fusion coulée debout, ils ont été essayés à une pression de 85 atmosphères. L'assemblage se fait au moyen de gutta-percha.

De petits tuyaux munis de soupapes d'arrêt relient la conduite générale aux appareils hydrauliques.

Ces appareils étant très disséminés, on a dû placer, sur la conduite principale et aux extrémités du terrain, deux accumulateurs relais. Ces accumulateurs sont un peu moins chargés que ceux placés près de la machinerie.

Le rendement des appareils hydrauliques n'est que de 30 pour 100 au maximum, encore faut-il qu'ils fonctionnent à leur maximum de charge, étant donné l'incompressibilité presque complète de l'eau.

Malgré ce faible rendement, il y a avantage à les employer, attendu qu'il ne faut pas que les quais soient embarrassés par des appareils gênants, ce qui arrive avec des machines à vapeur accompagnées de leur générateur.

Les grues hydrauliques sont placées par groupe de trois, espacées entre elles de 22 mètres. Ces groupes sont placés de 110 mètres en 110 mètres de distance; ces grues sont affectées au transbordement des marchandises arrivant par bateaux à vapeur.

J'ai observé aux Docks qu'on était très souvent obligé de se servir du treuil à vapeur installé sur le navire, lequel ne dépose les ballots que sur le pont, ballots qu'on est obligé ensuite de transporter sur le quai par brouettes au moyen d'un plan incliné; ce système primitif de transbordement provient de ce que la troisième grue ne communique pas la plupart du temps directement avec le troisième panneau du navire.

Cet inconvénient peut être facilement évité en employant des grues mobiles; l'installation de ces appareils était du reste projetée en 1877, espérons qu'il viendra un jour où du projet on passera à l'exécution.

Les grues sont de deux types : le premier comporte une charpente en bois destinée à loger les appareils et à supporter la volée; le deuxième, le plus nouveau, est en fer cornière, il est de beaucoup supérieur au précédent, moins lourd, tenant moins de place et se détériorant moins facilement.

Le bâtiment qui renferme les appareils dont nous parlons a une hauteur totale de 10^{m},800, en coupe il a la forme d'un rectangle de 5^{m},660 sur 3^{m},660, il est monté (1er type) sur quatre piliers en bois qui forment voûte pour livrer passage à la voie ferrée qui longe les quais.

La manœuvre de ces grues se fait par deux appareils :

1° L'appareil de levée;

2° L'appareil de rotation.

L'appareil de levée se compose d'un cylindre en fonte d'une longueur de 2^{m},381 et de 0^{m},257 de diamètre; un piston plongeur en fonte, de 2^{m},114 de course et de 0^{m},159 de diamètre, se meut dans ce cylindre. L'extrémité inférieure du cylindre (fig. 2) porte trois poulies, l'extrémité supérieure du cylindre porte également trois poulies correspondant exactement et symétriquement à celles du cylindre; ce jeu forme par conséquent moufle.

L'eau sous pression est distribuée au moyen de deux soupapes, une d'introduction et une d'échappement.

La chaîne de levée s'enroule sur les six poulies de l'appareil; une extrémité est attachée au cylindre, l'autre porte le crochet de levée. La levée est de $8^{m},450$ millimètres.

L'appareil de rotation se compose de deux cylindres symétriques en fonte

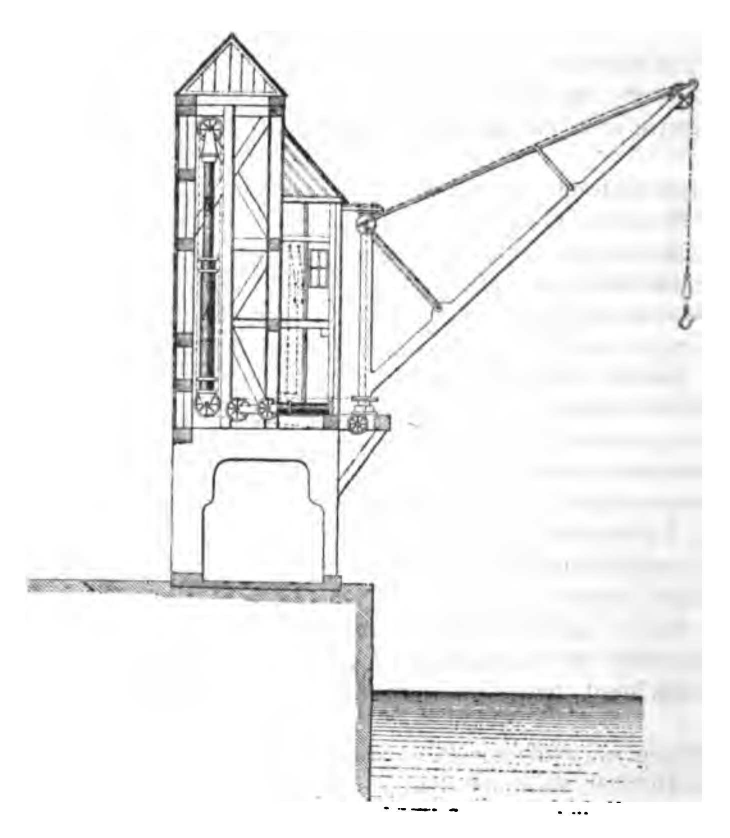


Fig. 2.

dans chacun desquels se meut un piston plongeur en fonte de $1^{m},029$ de course; l'extrémité de ces plongeurs est munie d'une poulie sur laquelle glisse une chaîne dont les extrémités sont attachées aux cylindres, et qui s'enroule sur un tambour à gorge, qui supporte la colonne de la grue.

La distribution de l'eau sous pression se fait dans l'un ou l'autre cylindre au moyen d'un tiroir.

La colonne et la volée sont en tôle et fer cornière.

La colonne a $3^{m},937$.

La volée a $11^{m},182$.

Le fonctionnement a lieu de la manière suivante :

Le conducteur se place à la partie supérieure du bâtiment et regarde par la petite fenêtre indiquée dans la figure 2 ce qui se passe sur le quai ou sur le navire; alors, selon qu'il le juge nécessaire, il fait aller l'appareil de rotation ou l'appareil de levée au moyen de chaînes commandant les leviers des soupapes de l'appareil de levée et le tiroir de l'appareil de rotation.

Les frais d'installation de ces grues varient entre 15,000 et 16,000 francs

La manutention d'une tonne de marchandises revient à 0 fr. 07 centimes.

On a projeté pour les Docks de Marseille uue grue hydraulique mobile d'une tonne de puissance.

Sur une plate-forme en fer on élève une tour en tôle et fer cornière portant la colonne et la volée de la grue. L'appareil de levée est placé dans la colonne, les appareils de rotation sont au pied de cette tour, horizontalement sous la plate-forme. A sa partie supérieure la tour porte une guérite en bois pour loger le conducteur, les soupapes et le tiroir de distribution sont placés sur la plate-forme, cette dernière est lestée de façon à maintenir le centre de gravité sous charge à l'intérieur du rectangle formé par les points d'appui.

Cette grue doit être placée sur une voie parallèle au quai, un tuyautage d'eau longe ce dernier et porte tous les cinq mètres des clapets de prise.

Pour l'emmagasinage des diverses marchandises on emploie des appareils fixes qu'on appelle des élévateurs, ils n'ont qu'un mouvement de levée, la descente des marchandises se fait au moyen de descenderies à frein.

Des cabestans pour le tonnage des navires, des machines hydrauliques pour actionner les plaques tournantes, des monte-charges pour élever des wagons sur des estacades doivent être et seront un jour installés.

La Compagnie des Docks a fait construire, il y a quelques années, un appareil flottant pour le débarquement des céréales. Cet appareil est mû par la vapeur.

Il se compose de plusieurs mécanismes montés sur charpente en fer, le tout installé sur un ponton en fer à fond plat, afin de pouvoir accoster facilement les bâtiments. Les organes élévateurs consistent en norias articulées pouvant pénétrer dans les navires par leurs panneaux.

J'ai remarqué que cet appareil était fort peu utilisé, cela provient, paraît-il, du prix trop élevé de sa location.

M. Barret ayant, en juillet 1868, constaté expérimentalement qu'avec un vide de 35 centimètres de mercure obtenu dans un récipient à l'aide d'une pompe, on pouvait aspirer verticalement le blé à une hauteur de 17 mètres, résolut de construire un appareil pour le déchargement des céréales, appareil basé sur ce principe.

Cet appareil se compose de deux cylindres verticaux terminés par deux appendices coniques; la partie inférieure de chaque cylindre est munie d'une porte en métal garnie de cuir destinée à laisser passer le grain quand on veut vider l'appareil. La disposition de ces deux portes est telle que lorsque l'une est fermée, l'autre se trouve ouverte.

Un tuyau télescopique vertical plonge dans la cale des navires et sert d'aspirateur, la partie supérieure de ce tuyau se divise en deux branches, qui pénètrent dans les cylindres sus énoncés; par des conduites munies de soupapes et placées à la partie supérieure de l'appareil on fait le vide au moyen d'une pompe aspirante.

L'ensemble de ce système s'installe à l'extrémité de la volée d'une grue, qui le met juste au-dessus du panneau de charge.

On élève 2 mètres cubes de blé à 9 mètres de hauteur en 2 minutes.

La Compagnie possède en outre de tous ces appareils : 12 grues hydrauliques de 1 tonne 1/2 de puissance, dites grues de cave, plus 2 machines rotatives de 8 et 16 chevaux, destinées à actionner des moulins à sucre.

Ces deux machines se composent d'un accouplement de trois cylindres, dont les manivelles forment entre elles dans leur projection des angles de 120°. La distribution se fait alternativement dans chaque cylindre, au moyen de tiroirs actionnés par le mouvement de la machine elle-même, comme dans les machines à vapeur.

J'ai déjà dit que la Compagnie des Docks était concessionnaire des instruments de radoub.

Je terminerai donc l'exposé, qui fait le sujet de cette communication, par un aperçu rapide de ces instruments.

Le bassin de radoub de Marseille se compose d'un bassin de stationnement, d'un bassin de réparations sur pontons et de quatre formes sèches.

Ces formes sèches sont de grandes enceintes en maçonnerie, parfaitement étanches, creusées dans le sol, que l'on met à sec par voie d'épuisement.

On les fait communiquer avec un bassin à flot au moyen d'un bateau-porte, flottant et échouable, qui sert à intercepter ou à établir la communication entre la forme et le bassin.

Le profil transversal de ces formes est à peu près semblable à la forme extérieure des navires.

La forme principale de Marseille peut recevoir un bateau de 130 mètres de longueur.

Quatre machines à vapeur donnent le mouvement à des pompes centrifuges, qui élèvent 10,000 mètres cubes d'eau à l'heure. Les quatre formes sèches en question ont coûté 2,870,000 francs.

Pour l'épuisement on emploie les pompes centrifuges de préférence aux autres, comme demandant moins d'entretien.

La forme flottante du port de Marseille est en bois, elle se compose d'un tablier horizontal surmonté de flotteurs latéraux, donnant la stabilité nécessaire pendant l'émersion et l'immersion, et présentant une capacité intérieure égale au déplacement des plus grands navires que l'on est exposé à mettre à sec.

Une des extrémités de cette forme est fermée par une cloison étanche assemblée avec le tablier et les flotteurs, et l'autre par une grande porte,

qui se meut autour d'un axe horizontal, fixé à l'extérieur du tablier à la hauteur des tins.

L'immersion s'obtient par des vannes placées sur les flotteurs et le tablier. Quant à l'émersion sous charge on arrive à ce résultat en vidant les flotteurs au moyen de pompes à vapeur.

Une machine de 15 chevaux émerge cet appareil en 3 heures 1/2.

Cette forme a coûté en 1846, 350,000 francs. Ses dimensions sont les suivantes :

Longueur.	64 mètres.
Largeur.	17 —
Hauteur.	7 —
Tirant d'eau.	0,80.
Déplacement.	965 tonnes.

M. Edwin Clarck a eu l'idée de mettre à sec sur des pontons flottants, au moyen d'espèces de presses hydrauliques, les bâtiments ayant besoin de réparation.

La Compagnie des Docks a formé le projet d'en installer un.

Ce gigantesque engin se compose d'un bassin d'un fort tirant d'eau, sur chacun des côtés longitudinaux duquel on a élevé des colonnes symétriquement placées. Ces colonnes ne sont autre chose que des presses hydrauliques, dont les plongeurs supportent au moyen de bielles une plate-forme mobile, placée au fond du bassin. La course verticale de ces plongeurs est égale au tirant du plus fort navire plus l'épaisseur du ponton, une machine motrice fournit l'eau sous pression.

En faisant fonctionner cette machine, les presses élèvent la plate-forme à 0,50 centimètres au-dessous du niveau de l'eau. On y échoue des pontons destinés à recevoir le navire, puis on redescend le tout au fond du bassin ; le navire est alors amené au-dessus du système immergé, on fait fonctionner les presses, elles élèvent tout le système au-dessus de l'eau, on vide les pontons, et lorsque l'on abaisse la plate-forme mobile, les pontons flottent avec le navire. On opère la remise à flot par une manœuvre inverse.

L'appareil projeté aurait 120 mètres de longueur, 24 mètres d'espace entre les deux rangs de colonnes, il pourrait soulever en une heure 1/2 un ponton et un navire de 4,000 tonnes.

Son prix de revient s'élèverait à la somme considérable de 3,300,000 fr.

J'ai passé rapidement en revue tous les appareils, engins hydrauliques ou autres, qui constituent l'outillage employé aux Docks de Marseille, outillage rigoureusement nécessaire aujourd'hui pour obtenir le fonctionnement de la mise en magasin des marchandises et pour assurer la réparation des navires après une longue traversée.

Là se termine ma communication, qui n'est qu'un exposé vrai d'une situation très perfectible.

M. Quéruel, tout partisan qu'il est de l'hydrodynamique, présente quel-

ques observations sur le système de machines de levage installé dans le port de Marseille. Il demande quel est l'auteur des études et l'atelier qui a construit.

Les presses travaillent en poussées dans l'intérieur d'un palan. Les efforts sont de nature instable et, sous l'action déroulante des poulies, les pistons tendent à un renversement sur le corps de presse et sont sujets à coincer. C'est un fonctionnement irrationnel que ne présente pas le genre à piston travaillant à la traction.

Il remarque encore, parmi ces nombreux appareils de levage, qu'aucun ne possède la variété de puissance, sous pression unique, que commande cet ordre d'emploi. Ainsi une grue de trois tonnes dépense constamment la puissance vive correspondante à cette charge, qu'elle soit à vide, à demi-charge, ou à charge complète. Qu'au début des applications hydrauliques au levage, cette question économique ait été négligée, on le comprend; mais voilà quinze ans que cette installation est faite, et l'on pouvait s'attendre à y trouver quelques perfectionnements dans le sens indiqué. Et cependant on construit couramment des grues à deux puissances sous une même pression, dont la manœuvre se fait par un unique levier.

Rien de plus séduisant que la régulation automatique pour l'approvisionnement d'eau comprimée, faite par cette dernière sur la machine à vapeur. Mais cette disposition, telle qu'elle a été pratiquée, écarte toute possibilité de détente de la vapeur dans les cylindres, en faisant les admissions de vapeur sensiblement complètes; afin que l'un des deux pistons conjugués à 90 degrés soit toujours en prise pour le départ. Ne serait-il pas possible de laisser à la machine son régime de vitesse uniforme et de varier le produit des pompes par une transmission variable automatiquement ?

Ce sont là deux points importants que M. Quéruel signale à l'attention de ses collègues et qui, à son avis, peuvent être revisés dans le sens économique.

En ce qui touche le levage des grains par voie d'aspiration, on a fait observer que ce mode donnait un très faible rendement. Cela est vrai, M. Quéruel l'a constaté lui-même, il est de 7 pour 100 environ sous une dépression d'air de 0 kil. 02. Mais ce travail s'exerçant en vertu du choc V^2 de l'air sur le grain et l'écoulement de l'air (véhicule) ne croissant que comme $\sqrt{h}$, il y a lieu de supposer que le rendement croîtra dans cette inverse proportion. Et lors même qu'il n'en serait pas ainsi, le rendement actuel restant le même, un cheval lève à 20 mètres une tonne de grain à l'heure. Une machine de cent chevaux viderait un navire de mille tonnes en dix heures. C'est donc 1 kilogramme de charbon par tonne de grain déchargé.

M. Duteil répond que son travail n'est qu'un exposé simple, sans commentaire, des installations de manutention dans le port de Marseille, dans lequel les considérations de perfectionnements n'ont pas été traitées, et que sa pensée n'a jamais été de présenter les organes des Docks de Marseille comme types impossibles à perfectionner.

M. Quéruel est trop pénétré des avantages que présente l'hydrodynamique pour qu'on puisse se méprendre sur le sens de ses critiques, qui sont au contraire la plus solide défense de ce système, puisqu'elles portent sur des perfectionnements qui en accroîtront les avantages. Il a voulu surtout appeler l'attention des ingénieurs chargés d'en faire des applications, vers une solution plus rationnelle et plus économique que celle de Marseille. Il a vu avec regret le délaissement de l'emploi de ces appareils au chemin de P.-L.-M. et dans le nouvel entrepôt des vins de Bercy, où aucune application dans ce sens ne paraît devoir être faite.

M. Thomasset dit que c'est, en effet, un reproche assez ordinaire adressé aux appareils hydrauliques que celui d'employer des machines à vapeur sans détente. Mais si l'on met ce moyen peu économique en balance avec l'avantage d'une action directe et instantanée, on reconnaît que la manutention hydraulique, telle qu'elle est réalisée aujourd'hui, rend encore d'énormes services, comparée à la manutention à bras.

Depuis longtemps en France on a cherché à introduire ces dispositions, notamment à Lyon il y a dix-huit ans; mais ces essais ont échoué devant la résistance du personnel.

Actuellement la Compagnie des chemins de fer du Nord installe des appareils hydrauliques, à la Chapelle, pour la manutention des wagons à marchandises. M. Thomasset est chargé de ces études et, quand le moment en sera venu, il sera très heureux d'en faire l'objet d'une communication à la Société.

M. Gottschalk cite Anvers, où il existe des grues hydrauliques très perfectionnées; Londres, où l'on a considérablement amélioré ces systèmes, et il pense qu'il suffit d'avoir des grues de puissances différentes intercalées pour répondre à cette question d'utilisation soulevée.

M. Quéruel dit que l'intercalation des grues de force et demi-force ne saurait être ni économique, ni pratique, puisqu'il faudrait déplacer le navire ou le wagon à chaque colis de poids différent.

Qu'on note bien que l'appareil à deux puissances permet de descendre la charge maxima sous pression de demi-force, c'est-à-dire de récupérer la puissance pour l'employer ensuite au relevage du crochet à vide et mieux d'un fardeau correspondant à la demi-force. De la sorte, rien n'est dépensé pour la descente et l'on peut éviter l'installation onéreuse et puérile des appareils de descente à freins.

M. le Président ne s'explique pas comment on peut préconiser l'emploi d'une machine de cent chevaux pour lever les grains avec un rendement de 7 pour 100, ce qui est un véritable gaspillage de force; alors que l'on vient de parler d'économies à réaliser dans les machines hydrauliques. Il y aurait là une contradiction.

Quant à l'idée qu'indique M. Quéruel de combiner des grues hydrauliques à deux puissances ou à puissance variable, elle est à l'étude depuis longtemps. Les solutions étudiées tendent même à proportionner constamment, régulièrement et automatiquement la puissance hydraulique à l'intensité de

la résistance ou de la charge; mais la réalisation pratique de ces solutions présente des difficultés considérables qui en retardent les applications.

M. Quéruel, qui connaît le prix du temps en matière de navigation, considère tout d'abord la question de rapidité dans les manutentions. Il faut substituer, autant que possible, l'action des machines à celle des bras, quel qu'en soit le prix. Mais ce premier problème résolu, il faut résolument attaquer le second qui est celui de l'utilisation. Il pense s'être suffisamment expliqué sur ces deux points pour qu'il ne reste aucune équivoque.

M. Gaudry dit que dans la communication intéressante qui vient d'être faite, il y a deux points sur lesquels il désire insister, savoir : le perfectionnement du port de Marseille au point de vue de la rapidité des manutentions et la possibilité de transformer nos gares de chemin de fer au même point de vue.

En ce qui touche le perfectionnement de l'outillage du port de Marseille, on ne saurait trop y applaudir et il est à désirer que les autres ports se piquent d'émulation, car lorsqu'on compare nos ports français avec beaucoup de ports étrangers, on est vraiment surpris de notre infériorité. Nous avons sans doute des flottes magnifiques, auxquelles il ne manque que d'être plus connues; aussi, M. Gaudry a-t-il saisi toutes les occasions d'appeler l'intérêt de la Société des Ingénieurs, sur les paquebots de nos grandes Compagnies Françaises et en particulier de la Compagnie Transatlantique, dont presque tous les ingénieurs sont nos collègues, et qui se distingue autant par son obligeance à fournir les éléments d'étude, que par ses soins à suivre le progrès.

Mais ce qui manque en France, ce sont d'abord les ports suffisants. Les grands paquebots de 140 mètres deviennent courants et sont déjà dépassés. La *City of Berlin* a 159 mètres, le nouveau paquebot *Orient* qu'Elder vient de livrer à la Compagnie Australienne, a 150 mètres de long, près de 16 mètres de large, et 9500 tonneaux de déplacement. Le *Great-Eastern* lui-même est, dit-on, en réparation pour entrer en service commercial. Nos ports français, très améliorés sans doute dans ces dernières années, sont donc à peine en état de répondre même aux besoins présents.

Ce qui leur manque bien plus encore, c'est cet outillage de service sans lequel il n'y a pas d'exploitation maritime économique et pratique, tels que voies ferrées avec dégagements suffisants, grues et cabestans automatiques, engins de réparations des navires, etc.

M. Gaudry a vu des ports étrangers de cinquième ordre mieux outillés que nos premiers ports français. Il signale notamment le port d'Anvers, qui tend à devenir le premier du continent au préjudice de nos ports de l'Océan, et vers lequel vont le trafic et le transit de l'Europe centrale, au préjudice de nos ports et de nos chemins de fer.

Des capitaines ont affirmé à M. Gaudry, qu'à Anvers, ils faisaient en trois jours les manœuvres d'embarquement et déchargement, qu'ils ne pouvaient faire en moins de hu jours, à Dunkerque, à Dieppe, au Havre;

sans compter les facilités et le libéralisme qu'ils trouvent dans la douane et autres administrations Anversoises.

Cette célérité de manutention, si bien mise en lumière, par M. Duteil en ce qui touche le port de Marseille, est également le *desideratum* des gares de chemins de fer français. En Angleterre et même en Allemagne, cette célérité de manœuvres de décharge d'un train, tient parfois du prodige et avec M. Duteil, il faut faire des vœux pour que dans nos gares, soient installés ces appareils hydrauliques ou autres, qui, depuis vingt ans, sont usuels presque partout autre part qu'en France.

M. Gaudry sait que le port de Marseille n'est pas le seul qui en ait fait l'application en France, et que des gares ou ateliers les ont aussi essayés quelquefois il est vrai avec peu de satisfaction, mais leur usage est si courant, notamment en Angleterre et à Anvers, qu'il ne faut certainement attribuer qu'à une installation insuffisante, les insuccès dont on s'est plaint en France.

Peut-être l'application en était trop restreinte. Les appareils du système Armstrong ou autres exigent de très grands frais de premier établissement, ainsi qu'un bon mécanicien directeur. Ils ne donnent leurs grands résultats économiques que s'ils sont en service presque continu sur une très vaste échelle. C'est le cas des gares de chemins de fer, comme celui des ports, où, par le jeu d'une simple manette manœuvrable par le premier venu, tout se meut automatiquement, depuis les appareils élévatoires de toutes formes et dimensions, jusqu'aux plaques tournantes des voies, et aux treuils pour la traction des wagons.

MM. Barbier, Baril, Chéron, Clerc, Faivre, Guillemant, Mencière et Mendiola ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 17 Octobre 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOSEPH FARCOT.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 octobre est adopté.

Il est donné lecture de la lettre suivante adressée par M. Leopoldo Gil de Barcelone :

« Monsieur le Président,

« Monsieur, c'est avec la plus grande douleur que j'ai l'honneur de vous annoncer la mort de mon aimé frère M. Claudio Gil, décédé le 1er septembre dernier dans cette ville.

« Ayant été membre de votre Société à laquelle il portait un grand attachement, et voulant lui donner une preuve de sa sincère et vive affection, il m'a chargé de vive voix, quelques jours avant son décès, qu'il

prévoyait lui-même, de faire un don de 5000 *francs* à la Société dont vous êtes le digne président.

« M. P. Gil, banquier, 6, boulevard des Capucines, est autorisé pour payer ladite somme que vous pourrez toucher, dès ce moment, moyennant le document que vous jugerez convenable d'accord avec mon frère, M. Pablo Gil.

« Agréez, Monsieur le Président,

« *Signé :* LEOPOLDO GIL. »

Sur la proposition de M. le Président, la Société accepte le don offert et vote à l'unanimité des remerciements à la famille de notre regretté collègue.

Il est ensuite donné lecture de la note suivante de M. Jules Garnier.

« Je crois devoir répondre aux lettres que deux de mes honorables collègues, MM. Pourcel et West, vous ont écrites au sujet des communications qui ont été faites à la Société des Ingénieurs civils dans sa séance du 1er août 1879.

La question de la déphosphoration me préoccupe depuis longtemps; je me tiens au courant de toutes les études que l'on fait dans le même sens, et j'eus communication du graphique de Richards, dès qu'il fut rendu public en Angleterre. L'inspection de ce diagramme m'inspira bientôt les réflexions suivantes :

1° Que la courbe du carbone y devait être erronée, à moins que les phases du travail au Bessemer fussent tout à fait différentes de celles qu'on observe sur sole;

2° Que le silicium en forte dose, par rapport au phosphore, doit faciliter le départ de celui-ci et qu'il y a donc lieu d'opérer sur des fontes extra-siliceuses, ou mieux *d'ajouter au bain des siliciures de fer.*

Sur ces entrefaites, la communication de M. Gautier (mai 1879) fut mise à l'ordre du jour de notre Société; la compétence bien connue de cet ingénieur devait attirer de nombreux métallurgistes — ce qui eut lieu, en effet — et je me réservai d'exposer devant eux ma façon de voir, dont j'entretins d'ailleurs par avance plusieurs ingénieurs.

Le 7 juin 1879 eut lieu, à Saint-Étienne, la communication de M. Pourcel; le compte rendu n'arriva à Paris, suivant l'usage, que dans les premiers jours de juillet; j'eus toutefois le temps d'en prendre connaissance avant notre séance du 4 juillet, où j'ai parlé; mais rien ne me frappa dans cette communication qui est, en effet, sur certains points, en désaccord complet avec mon système sur lequel, à ce moment, j'avais déjà rédigé le mémoire descriptif de mon brevet, lequel porte la date officielle du 5 juillet.

Il est certain que M. Pourcel, dans sa communication, dit qu'il doit y avoir une relation de proportionnalité entre le silicium et le phosphore des fontes; mais ce fait est avancé d'une façon incidente, en quelques mots perdus dans une dissertation générale de plusieurs pages. En dehors de

cela, M. Pourcel ne dit pas qu'on peut utiliser ce fait et il donne encore moins les moyens de le faire. Bien plus, M. Pourcel avance nettement les principes ci-dessous (p. 137) :

« Le four Siemens-Martin ne remplit pas les conditions énoncées, ni même le four Pernot ; le forno-convertisseur Ponsard et surtout la cornue Bessemer sont les seuls appareils qui les réalisent. » Et plus loin (p. 141) : « Comme conséquence, on peut donc prévoir qu'aux fours Pernot, Martin ou Siemens-Martin, dans lesquels on n'a pas à sa disposition l'énergique action affinante du *sursoufflage*, malgré le revêtement basique de la sole, identique à celui du convertisseur Bessemer, on ne pourra *jamais* réaliser la déphosphoration du métal doux d'une façon pratique. »

Je suis ici d'un avis contraire à M. Pourcel, ainsi qu'il le verra dans mon brevet; c'est précisément des fours à sole que j'attends dans mon système les meilleurs résultats; bien plus, je compte peu sur les appareils Bessemer pour la raison suivante, que M. Pourcel partagera probablement après réflexion, c'est qu'il me paraît difficile de régler la température dans une cornue Bessemer, que cette température sera énorme avec des bains extra-silicieux, d'où les réactions sur lesquelles je compte sur sole ne s'effectueront pas de la même façon.

En résumé, si nous nous sommes rencontrés avec M. Pourcel sur le fait que la dose de silicium joue un rôle important dans l'acte de la déphosphoration, je revendique de l'avoir plus nettement affirmé; d'avoir utilisé le fait en donnant les moyens de le mettre en œuvre; enfin, d'appliquer surtout mon procédé par l'intermédiaire des fours à sole, que M. Pourcel condamne en principe comme incapables de permettre la déphosphoration complète.

J'arrive maintenant à la lettre de M. West, au sujet des siliciures de fer auxquels j'ai fait allusion en citant mon brevet du 5 juin 1874. Si M. West veut bien lire ce brevet, il verra que je suis loin d'y revendiquer l'emploi des fontes silicieuses — qu'il ne faut pas confondre avec les siliciures de fer — pour l'obtention des aciers sans soufflures. Voici, d'ailleurs, un extrait de mon texte : « ..... On sait que le silicium joue dans le fer un rôle analogue à celui du carbone; que, de plus, il a sur le carbone l'avantage de ne pas donner un gaz, mais un solide, par son alliage avec l'oxygène. Je me réserve donc de fabriquer des fers fondus au silicium ou des *siliciures de fer* sans carbone ou avec peu de carbone et de les employer pour les opérations du moulage; je suis ainsi à l'abri des soufflures qui se produisent avec l'acier moulé. » Ainsi donc je n'ai signalé comme véhicules d'introduction du silicium dans les fers que le *chlorure de silicium* et les *siliciures de fer;* j'ai évité de parler du troisième mode qui consiste à prendre simplement des fontes silicieuses du commerce; ce moyen, beaucoup moins efficace appartient au domaine public depuis longtemps; il fut préconisé par Bessemer et employé dans diverses usines d'Europe. En l'appliquant dans ses aciéries en 1872, M. J. F. Revollier — dont j'ai eu l'honneur d'être l'ami et parfois le conseil, depuis l'année 1867 jus-

qu'à sa mort, en 1878 — M. Revollier, dis-je, savait qu'il imitait et n'inventait pas. Pourtant, vers cette époque, j'avais déjà la pensée que par l'addition de produits extra-siliceux on aurait des moulages régulièrement sans soufflures; M. Sabatier, directeur des constructions navales, se rappellerait peut-être encore qu'à cette date je lui proposai de couler ses blindages en acier sans soufflures, et je comptais pour réussir sur les siliciures de fer fabriqués en grand, mais analogues à ceux que Berzelius fit au creuset pour la première fois, il y a de nombreuses années. »

MM. Armengaud et Duteil s'étant excusés par lettre de ne pouvoir faire leurs communications inscrites à l'ordre du jour, par suite d'indisposition, M. le Président donne la parole à M. Brüll, qui veut bien se charger de lire une note de M. Lencauchez sur la métallurgie du fer, traitement des fontes phosphoreuses pour l'acier fondu[1].

M. Regnard croit devoir rectifier plusieurs erreurs contenues dans la note de M. Lencauchez. Les briques en magnésie de M. Tessié du Motay étaient faites de magnésie pure, et non avec mélange d'argile. Ce n'est pas un convertisseur Bessemer, mais un appareil spécial, imaginé par M. Tessié du Motay pour le traitement des fontes phosphoreuses, qui a été garni à Terre-Noire avec ces briques de magnésie.

M. le Président remercie M. Brüll, et il est donné lecture du Mémoire de M. Cacheux sur les habitations ouvrières exposées en 1878[2].

M. Hamers trouve que le rendement indiqué par M. Cacheux est trop faible, qu'il peut s'élever facilement à 5 p. 100, et peut-être au delà dans certains cas.

M. Ivan Flachat demande à M. le Président s'il voudrait bien donner des renseignements sur les habitations ouvrières qui entourent ses usines à Saint-Ouen.

M. le Président dit qu'il n'existe pas à Saint-Ouen d'habitations ouvrières du genre dont on parle; mais seulement d'une part, de grandes maisons de location à plusieurs étages comme celles des faubourgs de Paris, et d'autre part, des maisons construites sur petites parcelles de terrain par les ouvriers eux-mêmes, et dans des conditions de salubrité et d'hygiène généralement mauvaises.

Les circonstances sont d'ailleurs difficiles à Saint-Ouen pour établir économiquement des maisons du genre de celles qui sont décrites dans le Mémoire qui vient d'être lu : le terrain y est cher, la main-d'œuvre est d'un prix très élevé, et il n'y aurait, à son avis, qu'une grande Société, faisant construire un grand nombre de maisons à la fois, qui pourrait avoir des chances de succès.

M. Hamers pense qu'une grande Société peut toujours faire une affaire lucrative, parce qu'elle peut acheter plus de terrains qu'il ne lui en faut

1. Ayant reconnu depuis la séance que cette note avait été insérée *in extenso* dans les *Annales industrielles* du 1er juin dernier, nous ne la reproduirons pas.

2. Ce Mémoire sera inséré *in extenso* avec les planches dans le prochain *Bulletin*.

pour construire ses maisons, et revendre le surplus à très bon prix quand l'agglomération de population provoquée par la construction des maisons aura élevé la valeur des terrains.

Qu'elle agisse ainsi ou autrement, un groupement intelligent, opportun, produira rapidement une plus-value, soit au profit des constructeurs, soit au profit des acquéreurs, soit plutôt à l'avantage des uns et des autres.

M. Hamers croit qu'il existe encore, même à Paris, entre les anciennes barrières et l'enceinte fortifiée, de vastes terrains propres à de pareilles entreprises.

M. le Président pense qu'à Paris, la solution serait plutôt dans l'établissement de chemins de fer et de tramways, rayonnant autour de la capitale, et permettant aux ouvriers d'aller chercher, à quelque distance et sans grands frais, des habitations construites là où les terrains sont encore à un bas prix relatif.

M. Brüll trouve qu'il est difficile de comparer des maisons ouvrières entre elles, surtout quand elles sont édifiées dans des pays différents où le climat et les conditions de main-d'œuvre, d'achat de terrain et de matériaux de construction, ne sont pas comparables.

M. Brüll cite et décrit des maisons d'ouvriers qui sont très répandues en Algérie et qui coûtent 200 à 250 francs pour une surface couverte de 32 mètres carrés.

La carcasse de ces gourbis est faite de perches, et des bottes d'une matière végétale nommée *diss* servent à former les murs et la toiture.

Des maisons de mêmes dimensions, mais dans lesquelles les murs sont en pierres, n'ont coûté que 650 francs, parce que les fouilles mêmes fournissaient la pierre nécessaire, la chaux s'extrayait dans le voisinage et le bois de la forêt coûtait fort peu.

Ces maisons sont à simple rez-de-chaussée, elles sont formées chacune de deux chambres à feu de 4 mètres sur $3^{m},50$. Elles seront plus durables et plus avantageuses que les gourbis.

Dans le Pas-de-Calais. M Brüll cite des maisons d'ouvriers construites en briques, et qui ne coûtent que 1200 à 1500 francs, à cause du bon marché des briques qui, fabriquées sur place, ne coûtent pas plus de 10 fr. le mille.

M. Ivan Flachat dit que l'ouvrier ne s'accommode pas facilement d'une maison faite d'avance, parce qu'elle ne répond pas à ses désirs ou à ses besoins. Quant à lui, il est partisan du système qui consiste à avancer à l'ouvrier une certaine somme, pour lui permettre de construire une maison dans les conditions qui lui paraissent le plus convenables.

Le danger de cette solution, dit M. le Président, est que les constructions ainsi élevées étant faites sans vue d'ensemble, ne laissent entre elles que des voies de communication étroites et tortueuses, peu favorables à l'hygiène, et rendant très difficile et très coûteuse la mise en viabilité ultérieure, c'est ce qui se produit à Saint-Ouen.

MM. Guary, Robert, Rocour et Sevin ont été admis comme membres sociétaires.

RAPPORT

SUR LA MARINE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

PAR M. JULES GAUDRY.

La marine, à l'Exposition, n'offre que trois de ces grandes machines dont le transport et le montage sont si dispendieux, plus trois autres petites machines, le steamer le *Frigorifique* et six canots à vapeur ; nous trouvons par contre un grand nombre de modèles, tableaux, plans et dessins, appareils ou agrès.

Le tout, très disséminé, trop souvent sans renseignements et par suite difficile à étudier, représente en somme assez bien l'industrie maritime des divers peuples.

La France et l'Angleterre ont, comme d'usage, fourni le contingent principal. Il y a peu de choses de l'Espagne qui a de belles flottes, et de la Belgique qui a le port d'Anvers et l'atelier de Seraing. Il y a seulement des dessins et photographies de l'Amérique, qui est la seconde puissance maritime du globe et qui possède de si curieuses flottes fluviales. Enfin, il n'y a rien de l'Allemagne dont la marine commerciale, la cinquième du globe, est si menaçante pour la nôtre.

L'Autriche et la Hollande présentent les modèles de leur belle flotte fluviale.

L'Italie, qui devient aussi une puissance maritime dangereuse pour nous, a divers modèles et dessins.

La Suède, dont l'industrie si peu connue mériterait tant d'études, avait aux expositions précédentes des machines marines originales et d'une admirable exécution; elle n'a envoyé cette fois qu'une petite machine de bateau et elle s'est rejetée sur le matériel des chemins de fer, on sait avec quel éclat. Si nous parlons de la marine suisse on va

penser à certain personnage de comédie ; il n'en est pas moins vrai que la Suisse a sur ses lacs une flottille à vapeur de premier ordre et deux grands ateliers de construction maritime dont celui de Zurich a fourni, en vingt-cinq ans, 308 steamers d'une force collective de 60,000 chevaux. A l'Exposition elle a les dessins de ses beaux bateaux et deux petites machines de canots à vapeur, qui ont fixé l'attention des amirautés.

Il faudrait un volume pour décrire tout ce qui concerne la marine à l'Exposition.

Restant dans le cadre ordinaire des travaux de la Société des Ingénieurs civils, nous nous bornerons à la machine motrice des bâtiments à vapeur et à leur coque considérée au point de vue de l'ensemble de sa construction.

Avec la présente note est déposé un dossier des documents, listes des dimensions et même des dessins que nous avons pu recueillir, soit directement, soit de la bienveillance de quelques exposants.

Ce dossier nous dispensera des descriptions ; et même ce à quoi nous nous attacherons ici, c'est à considérer dans son ensemble le magnifique concours universel, pour en signaler les faits principaux, pour en conclure quelles sont les tendances actuelles de la marine.

Ainsi précisé, notre compte rendu comprendra : les bâtiments de guerre, les paquebots maritimes à hélice et à roues, la navigation fluviale et enfin, les machines, chaudières et condenseurs, à quoi nous ajouterons quelques appareils d'un intérêt spécial.

I

BATIMENTS DE GUERRE

On sait qu'il en existe deux classes distinctes : les monitors ou gardes-côtes, et les bâtiments de grande navigation.

Les premiers, dont l'histoire et l'origine française sont assez connues, n'ont presque rien des navires classiques ; ce sont des citadelles flottantes aux formes étranges, des larges pontons presqu'à fleur d'eau, ne laissant émerger que des tourelles ou bastions, sans mâture, mais pourvus de machines à vapeur puissantes, enfin revêtus en tous sens de

ces formidables blindages si intéressants dans la métallurgie actuelle, ainsi qu'à l'Exposition où ils dépassent 60 centimètres d'épaisseur.

Sont-ils invulnérables enfin ? Hélas, ils ne résistent pas longtemps à ces canons-monstres que transporte le wagon à 24 roues construit par le Creuzot pour l'Italie. (Voir notice du Creuzot nº 2.)

On avait cru découvrir que deux blindages distancés, relativement minces, se défendaient mieux, le premier détruit quel qu'il fût, mais absorbant la force vive du projectile, qui dès lors respectait sensiblement la seconde cuirasse ; on disait qu'on allait pouvoir se dispenser de ces blindages extravagants que bientôt le navire ne pourra plus porter. Mais on commence à ne plus parler de ce nouveau projet et même à dire qu'il n'a été qu'une séduisante mystification, bien contraire, en tous cas, aux spécimens de blindages, et d'outillage pour les faire, que nous trouvons à l'Exposition.

Parmi les modèles de monitors que celle-ci nous offre, le visiteur remarquera les suivants sur lesquels le dossier annexé au présent compte rendu contient des notices.

Dans la galerie anglaise le dessin de *la Dévastation* si souvent décrite avec sa batterie en forme de grand réduit, et les quatre modèles suivants :

1° La batterie le *Palmer* à deux hélices : elle a 33 mètres de long, 10 mètres de large et 310 chevaux de force nominale ; elle porte 4 canons.

2° *Le Huscare* construit par Laird de Birkenhead, monté de deux énormes canons Armstrong; longueur 57 mètres sur 10^m, 50 de large, 4^m,50 de tirant d'eau ; 1,500 chevaux de force.

3° L'*El Plata* et *Los Andes* autres monitors à canons dans une tourelle, du même constructeur : longueur, 54 mètres sur largeur de 13^m, 20 et 2^m, 88 de tirant d'eau ; 750 chevaux de force.

4° *Le Parana* et *l'Uruguay* canonnières à deux hélices, montées d'un canon : 180 chevaux de force, 25 mètres de long, 7^m, 80 de large.

Dans la galerie française nous trouvons d'abord les deux monitors brésiliens à deux hélices, longs de 75 mètres sur 18 mètres de large et 2,000 chevaux de force, plus le dessin du *Puycerda*, autre monitor pour l'Espagne ; tous trois construits par la Société des forges et chantiers (voir pièce 3).

Deux autres modèles de monitors ou gardes-côtes sont exposés par le ministère de la marine (voir pièce 2), savoir : le *Tonnerre*, 1re classe et

la *Tempête*, 2me classe. Ils sont à hélice unique; sans mâture, armés de deux canons dans des tourelles à blindages de 35 centimètres.

La machine du *Tonnerre* peut fournir 4,000 chevaux indiqués.

Les bâtiments de guerre autres que les monitors n'ont que deux spécimens dans la section anglaise, savoir : 1° le modèle de la corvette *Opale* construite par Doxfort, à Sunderland : longueur 70 mètres, largeur 12 mètres ; creux 6^m^, 30, 1864 tonneaux de jauge, 2,100 chevaux indiqués, deux hélices à quatre branches ; l'armement consiste en 14 canons.

2° Modèle de la corvette à deux tourelles *Wiwert* montée de quatre canons dits de 300 livres : 66 mètres de long, 12^m^, 60 de large et 350 chevaux de force nominale.

Dans la section française sont les modèles ou dessins de tous les types de bâtiments de guerre usuels, depuis le canot et le torpilleur jusqu'aux transports et aux vaisseaux de 1er rang. C'est principalement le ministère de la marine et la Société des forges et chantiers, (voir pièce 1, n° 3), qui en font l'exhibition, puis viennent le Creuzot et Claparède. Chacun a déposé à notre dossier la notice relatant les dimensions et particularités de construction, et il suffira ici d'énumérer les bâtiments à recommander principalement à l'attention.

1° *Le Duperré* (pièce 3, page 17), le plus grand vaisseau de la flotte française, encore en construction aux chantiers de la Seyne sur les plans de M. Sabattier, successeur de M. Dupuy de Lôme à la direction des constructions navales. Il est cuirassé de bout en bout à l'épaisseur de 30 à 35 centimètres, construit entièrement en fer et acier, avec une multitude de cloisons étanches en tous sens comme les célèbres vaisseaux anglais et italiens *Inflexible* et *Duilio*. *Le Duperré* à 100 mètres de long, 20^m^,40 de large, 13^m^,40 de hauteur, et 10,500 tonneaux de déplacement au tirant d'eau de 8 mètres en ordre de marche, avec ses 28 formidables pièces d'artillerie. Pourvu de deux hélices propulsives, il a deux machines distinctes verticales, pilon Compound, qui pourront fournir une puissance motrice de 8,000 chevaux indiqués ; la vapeur à quatre atmosphères fournie par 12 corps de chaudière.

2° *Le Tourville* (voir pièce 3, page 13), croiseur de 21 canons, à demi-tourelles en encorbellement, construit en trois années au chantier de la Seyne, suivant le système composite, c'est-à-dire en fer et bois, avec étambot et avec éperon en bronze. Longueur 103 mètres,

largeur 15^m, 25, creux 11 mètres, déplacement 6,000 tonneaux, tirant d'eau de 7 mètres. Machine horizontale Woolf à quatre paires de cylindres en deux groupes, ayant fourni aux essais 7,340 chevaux indiqués à la vitesse de 17 nœuds. La voilure à 2,300 mètres et la vapeur est fournie aux machines par 12 corps de chaudières ayant ensemble 48 foyers, 88 mètres de grille et 2,230 mètres de chauffe.

3° *Le Trident* et *le Colbert* remarquables par leurs belles formes, construits aux chantiers de l'État sur les plans de M. Sabattier, armés de six canons en tourelle, coque en bois blindé, machines de 4,600 chevaux, vitesse de 14 nœuds. (Voir notice 1.)

4° *La Dévastation* et *le Redoutable* (voir notices 1 et 2) construits en fer à Lorient sur les plans de M. de Bussy, ressemblant par leurs formes étranges plus aux monitors qu'aux vaisseaux, mais pourvus comme ceux-ci d'une vaste voilure et de machines de 6,000 chevaux indiqués, à sextuple cylindre, système Woolf, construites, savoir : celle de *la Dévastation* à Indret, type pilon, et l'autre, type horizontal, au Creuzot.

5° L'*Annamite* et *le Mytho* (voir notices 1 et 2), beaux transports de l'État de construction composite en fer et bois, forme de paquebots : longueur 115 mètres, sur 15 de large; grande voilure, machines de 3,000 chevaux du Creuzot dont il sera parlé plus loin.

6° *Le Cyclope* (voir notice 3, page 38) vaisseau atelier construit par la Société des forges et chantiers, pour l'Autriche. Puissance motrice 1,000 chevaux; l'atelier comprend une fonderie avec un cubilot à fondre 500 kilog., une forge de 18 feux avec un pilon de 1,000 kilogrammes, quatre grues, un atelier d'ajustage de 12 étaux, et 18 machines-outils, dont un tour à banc de 10 mètres, une raboteuse à table de 3 mètres sur 6 mètres, et un fort burineur.

7° Viennent ensuite dans les sections du ministère de la marine et des forges et chantiers, ainsi que dans les expositions de Claparède, de Normand et autres, un grand nombre de modèles ou dessins de croiseurs, avisos, canonnières, torpilleurs à vitesse considérable (18 nœuds) et des appareils de toutes sortes, pour lesquels il faut renvoyer aux notices déposées au dossier. Mais nous ne devons pas omettre de relater les dessins du savant amiral Paris, bien connu de notre Société des ingénieurs qui a reçu ses publications, et dont les idées principales sont passées dans le domaine de l'exécution en presque toutes les

marines militaires ; le tableau de l'amiral Paris à l'Exposition est une page d'histoire de la navigation : c'est une réunion des types principaux qui ont existé, depuis le vieux lougre du dix-huitième siècle jusqu'à la galère japonaise. L'amiral Paris continuera cette curieuse collection qui a pour titre, *Souvenirs de marine conservés*. Un exemplaire des 26 planches déjà publiées a été offert à la Société qui en témoignera sa reconnaissance.

Étudiée dans son ensemble l'exposition des bâtiments de guerre donne lieu aux observations suivantes :

1° Au contraire des paquebots de commerce, tous à peu près copiés aujourd'hui les uns sur les autres, les navires de guerre présentent une grande variété de types. C'est que les progrès dans l'art de la destruction ne s'arrêtent pas et qu'il faut les suivre aussi bien que dans l'art de les protéger. Les modèles de l'exposition française sont très intéressants à étudier à ce dernier point de vue.

2° A leur début les navires cuirassés n'étaient guère que des caisses épointées aux deux bouts, et faisant le désespoir des marins habitués aux formes architecturales des anciens trois-ponts et frégates. On est revenu maintenant à des formes majestueuses et bien découpées qui les rappellent, quelque épaisses que soient les cuirasses. On sait aujourd'hui les façonner au pilon, de manière à épouser toutes les courbes des murailles d'un navire. Ce façonnage est bien plus facile encore avec l'*acier fondu* sur modèle et *non forgé* des usines de Terre-Noire, dont les procédés émeuvent si vivement en ce moment les métallurgistes.

3° Les vaisseaux de guerre atteignent aujourd'hui des tonnages énormes. *Le Duperré* de 10,500 tonneaux est loin d'être le dernier mot de la marine ; *le Lepanto* de la marine italienne encore en construction déplacera 15,500 tonneaux. On sait, en effet, qu'il faut aujourd'hui supporter des cuirasses de 4,000 kilog. au mètre carré. Mais à la différence des paquebots de commerce qui tendent de plus en plus à l'allongement, les bâtiments de guerre n'excèdent pas 100 à 110 mètres, et ils sont par conséquent un retour contre ces bâtiments géants vers lesquels tendait il y a dix ans l'amirauté anglaise, pendant que la France s'en tenait au contraire aux dimensions relativement modérées tels que *la Gloire*, *le Magenta* et autres.

Mais on donne de très grandes largeurs : *Le Javary*, monitor brési-

lien, a 18 mètres et *le Duperré* a plus de 20 mètres. Les hauteurs de bord vont, d'autre part, parfois jusqu'à 16 mètres, dont moitié environ dans l'eau.

Quant aux mâtures elles sont immenses; la surface de voiles se compte par milliers de mètres carrés comme la force des machines motrices se compte par milliers de chevaux indiqués.

4° En voyant aujourd'hui un navire de guerre cuirassé, partout fermé comme un œuf aux jours de branle-bas, on se demande comment peuvent y vivre un millier d'hommes et plus. Ils y souffrent évidemment; néanmoins on s'applique à des systèmes de ventilation et d'aérage. Il faut étudier à l'Exposition celui de la corvette anglaise *Opale*, munie de 24 manches à vent et le système du transport l'*Annamite* et du garde-côte le *Fulminant*. Le principe fondamental est l'adduction de l'air extérieur pris au-dessus du pont par ces cornets bien connus dits *manches à vent*, et sa distribution par des conduits à tous les étages du navire, particulièrement dans ces coins de la cale et de la membrure, si souvent foyers d'infection; l'air vicié est à son tour emporté dans des cheminées d'appel, ordinairement en forme d'enveloppe concentrique à la grande cheminée des chaudières, et où règne naturellement une grande chaleur.

5° Une des principales innovations récentes dans la marine de guerre est l'emploi de plus en plus grand du fer substitué au bois devenu si rare; le navire est devenu au premier chef de la compétence des ingénieurs civils, qui ont, pour les constructions en fer, tant d'intérêt et d'autorité. La métallurgie des blindages et de l'artillerie, la membrure du navire, ses constructions cellulaires avec cloisons étanches en travers et en long, ses tourelles montées sur des ponts roulants comme ceux de nos chemins de fer, l'affût devenu une véritable machine, donnent lieu aujourd'hui à une multitude d'applications manufacturières qui devraient être plus souvent l'objet des études des ingénieurs civils.

II

MARINE COMMERCIALE

L'Angleterre et l'Italie s'unissent à la France pour exposer au Champ de Mars la réunion des types usuels.

Occupons-nous avec soin de la marine française : elle ne saurait trop nous intéresser en ce moment, où il y a tant de soucis publics sur sa situation si gravement menacée par une concurrence étrangère désespérée, non seulement celle de l'Angleterre et de l'Amérique, mais celle de l'Italie, de l'Espagne et surtout de l'Allemagne, qui, par ses commissionnaires savamment répandus sur toutes nos places, enlèvent à tout prix le fret à notre pavillon, et dont les paquebots venant de Brême et Hambourg font la cueillette sur toutes nos côtes dans leurs routes vers l'Amérique.

Que la Société des ingénieurs saisisse donc toute occasion d'affirmer avec son autorité la valeur de nos flottes et qu'elle proteste, quand il y aura lieu, contre des attaques imméritées non rares et qui font trop bien le jeu des ennemis de notre marine.

On a dit à propos des enquêtes qui se succèdent et ne se terminent jamais, qu'il n'y a pas besoin de se donner tant de mal pour conserver un atome de vie à des industries, non dans nos mœurs, et mourantes de leurs projets d'impuissants, rien n'est plus faux. Nous avons pu faire au début d'inévitables écoles, mais nos paquebots et nos compagnies entièrement réorganisées en ces dernières années prouvent, par ce qu'ils font au milieu des plus pénibles circonstances, ce que pourrait être la marine française avec un peu plus de cette protection et de cette popularité, que les étrangers donnent patriotiquement à leur marine commerciale comme à une affaire nationale, et comme à l'auxiliaire indispensable de la marine militaire en temps de guerre. En dehors de nos établissements d'État, nous avons cinq principaux ateliers et chantiers de constructions maritimes et onze principales compagnies réunissant près de 200 paquebots de premier ordre. C'est peu, comparé à l'Angleterre qui, d'après *le Véritas*, a 3,000 steamers et une centaine de constructeurs; c'est assez pour nos besoins et pour nous constituer en somme la quatrième puissance maritime du monde, rang que nous

sommes toutefois menacés de céder à l'Allemagne, et presque à l'Italie.

Le contingent de la marine commerciale française à l'Exposition est fourni principalement par la Société des forges et chantiers, qui réunit dans ses vitrines, outre les bâtiments de guerre, soit en modèles soit en dessins, les principaux paquebots construits en ses établissements pour nos différentes compagnies. Claparède a également une exposition considérable. Normand du Havre et Jollet de Nantes ont aussi leurs modèles et dessins. Enfin, nos grandes compagnies maritimes sont d'autre part représentées, ou bien personnellement, ou bien par les constructeurs eux-mêmes, au moyen de un ou de plusieurs de leurs paquebots.

Suit l'énumération, renvoyant pour les détails au dossier des documents :

1° La Compagnie des Messageries maritimes qui possède 60 steamers et dessert trois lignes (voir pièce VI. b.) s'est bornée aux *plans* du *Yang-Tsé*, l'un de ses treize bateaux de 125 mètres et 5,400 tonneaux de déplacement, munis de machines-pilons Compound à triple cylindre, où l'on remarque des condenseurs à tubes verticaux ayant la longueur inusitée de 6 mètres.

Aux expositions précédentes elle avait montré ses autres types de navire, notamment *le Danube*, dont le joli modèle est au Conservatoire des Arts et Métiers.

2° La Compagnie transatlantique entièrement réorganisée, dessert quatre lignes avec 28 paquebots, variés de systèmes et d'origines, dont quatre types sont à l'Exposition en modèles et en tableaux, savoir : *le Labrador*, *le Pereire*, *la Ville de Saint-Nazaire* et *le Vénézuéla*.

Le Labrador, paquebot à spardeck, de 120 mètres, où ont été réunis par excellence tous les perfectionnements modernes au point de vue le plus pratique pour des services courants. Les passagers qu'il porte en grand nombre à chaque traversée témoignent en sa faveur. La planche 151 donne la coupe longitudinale par l'axe et les demi-coupes à deux hauteurs. On peut considérer les dispositions comme le type de ce qui se pratique communément dans les paquebots de grand service mixte pour voyageurs et marchandises.

La planche 153 donne, d'autre part, l'élévation en façade de la machine du *Labrador* et de cinq autres paquebots de la Compagnie transatlantique. Elle appartient au principe Woolf, détendant la vapeur successivement dans deux cylindres. Nous reviendrons plus tard sur ce système. La machine du *Labrador* a été construite par Maudslay, de Londres. Deux autres ont été faites en France.

Le Pereire, 105 mètres de long, est le type du fin coureur de grand luxe dit à rouff, avec allée de circuit, et non entièrement couvert, comme le précédent, de ce pont supérieur complet appelé spardeck qui forme un étage de plus. Machine transformée aux ateliers de la Compagnie en Compound à trois cylindres. La planche 153 donne le diagramme des consommations et vitesses comparées avant et après la transformation. Nous reviendrons plus tard sur les remarquables résultats qui ont été obtenus.

Au même type de paquebots à rouff, appartiennent *la Ville de Paris*, ainsi que *le Saint-Laurent*, l'un des plus en vogue, qui est de construction entièrement française. (Chantiers de la Loire et ateliers du Creuzot.) Mais la machine de ces deux navires est du type Woolf, comme *le Labrador*.

La Ville de Saint-Nazaire, 80 mètres de long, du service des Antilles, type du bateau à deux hélices jumelles et à double machine Compound proprement dite, et munie de cette étrave ayant un peu une forme d'éperon, qui devient si à la mode que nous la retrouvons jusque dans les bateaux-omnibus de Paris dits *Hirondelles* du dernier type. *La Ville de Saint-Nazaire* et ses deux pareils ont été construits au Havre et à Bordeaux par Mazeline.

Le Vénézuéla, 64 mètres de long, 9 de large, 1 100 tonneaux de déplacement et 250 chevaux de force indiquée ; construit au Havre par la Société des forges et chantiers, pour le service des Antilles. Machine-pilon Compound pour chaque hélice (deux cylindres inégaux de $0^m,70$ et $1^m,40$ de diamètre, $0^m,90$ de course et 88 tours).

3° *La Société des chargeurs et la Société de transports maritimes* sont deux autres grandes Compagnies françaises, ayant l'une 10 et l'autre 17 paquebots dont plusieurs sont exposés en modèles par la Compagnie des forges et chantiers qui a été le constructeur de presque tout leur matériel notamment :

1° *Le Pampa*, de la Société des chargeurs (première division, décorée du *Véritas*), construit à la Seyne en dix mois. Longueur 100 mètres, largeur 12 mètres, déplacement 4,850 tonneaux au tirant d'eau de 6 mètres. Machine-pilon Compound à deux cylindres ayant $0^m,90$, et $1^m,80$ de diamètre avec un mètre de course et 68 tours. 1,300 chevaux de force indiquée. (Page 48 de la notice déposée au dossier.)

2° *La France*, de la Société des transports, paquebot le plus grand de la marine française. Longueur 130 mètres, largeur $11^m,40$, déplacement 5,000 tonneaux au tirant de $5^m,60$. Installation pour 200 passagers de première et seconde classe, et 850 émigrants, plus 2,550 mètres cubes d'emplacement pour marchandises.

Machines Compound à trois cylindres égaux de $1^m,52$ de diamètre sur $1^m,20$ de course et 60 tours, 840 mètres de chauffe, avec 2,190 chevaux de force motrice indiquée, la vitesse avec essais a été *13,3* nœuds. A l'allure de 11 nœuds 1/2 avec 1,250 chevaux indiqués; la consommation a été aux essais de $0^k,827$ par cheval et par heure. A l'ouverture de l'Exposition, le paquebot comptait 26 voyages au Brésil, sans avaries ni arrêts, dit la Notice, et dans les meilleures conditions économiques. (Voir Notice au dossier, page 44.)

3° *La Bretagne*, porteur de houille et minerai, de la Société générale, type de ces navires à *Water-Ballast* répandus aujourd'hui, c'est-à-dire pourvus d'un double fond ou caisses à eau qui s'emplissent et font lest quand la coque est vide, mais dont on épuise rapidement l'eau quand on refait le chargement. Les navires qui n'ont pas un fret assuré à peu près égal à la sortie et à l'entrée, adoptent ce système de *Water-Ballast* dont l'Exposition nous offre divers spécimens. *La Bretagne*, construite à la Seyne en onze mois, a 87 mètres de long, sur $11^m,54$ de large et 3,870 tonneaux de déplacement, à $5^m,70$ de tirant d'eau. Water-Ballast de 700 tonneaux. Machine-pilon Compound à deux cylindres inégaux de $0^m,96$ et $1^m,77$ de diamètre avec course de $0^m,90$ et 67 tours d'hélice, 970 à 1,236 chevaux de force motrice indiquée; port habituel de minerai 2,200 tonneaux; très dur service, n'ayant nécessité aucune réparation en trois ans. (Voir Notice au dossier, p. 46.)

4° Sont également représentées à l'Exposition par des plans ou modèles de paquebots, les Compagnies françaises qui suivent :

1° La *Compagnie Quesnel*, par *le Sully*, l'un des beaux paquebots à spardeck du Havre. Longueur 75 mètres, largeur 9 mètres, déplacement 2,500 tonneaux et 5 mètres de tirant d'eau. Machine-pilon Compound à deux cylindres inégaux de $0^m,70$ et $1^m,40$ de diamètre, $0^m,90$ de course et 65 tours. (Voir au dossier Notice de la Compagnie des forges et chantiers.)

2° *La Société Roques* de Marseille, par *le Nam-Vian* pour le service de la Cochinchine, est remarquable par ses formes ramassées et ses dispositions spéciales avec teugue et galerie couverte dite awing-deck, en vue des voyages en pays chauds. Longueur 60 mètres, largeur 9 mètres, creux 5 mètres, déplacement 1,140 tonneaux au tirant d'eau de $3^m,60$. Machine-pilon Compound dont les cylindres ont $0^m,60$ et $1^m,20$ de diamètre avec course de $0^m,56$, et 90 tours d'hélice. (Voir au dossier Notice des forges et chantiers.)

3° *La Compagnie de Navigation mixte* à Marseille, a *le Soudan* pour le service d'Alger. Longueur 66 mètres, largeur $8^m,80$. Machine de 700 chevaux indiqués, système pilon Compound. Cylindre $0^m,70$ et $1^m,34$, course $0^m,70$, nombre de tours 70, surface de chauffe 200 mètres carrés. (Voir au dossier Notice des forges et chantiers, p. 56.)

4° Enfin la Compagnie *Paquet* de Marseille, a *la Meuse*, paquebot de 700 chevaux pour le service du Maroc. Longueur 76 mètres, largeur 9 mètres, déplacement de 2,100 mètres cubes, au tirant d'eau $4^m,80$, creux $7^m,40$. Machine-pilon Compound, diamètre des cylindres 0,77 et $1^m,50$, course $0^m,84$, avec 70 tours d'hélice, 240 mètres de chauffe, bon service de six ans dans de très bonnes conditions économiques. (Voir au dossier Notice des forges et chantiers.)

5° Dans l'exposition de *Claparède*, si considérable en plusieurs classes, à côté des remorqueurs, bâtiments de guerre, torpilleurs, etc., on remarque les tableaux de *l'Emilie* porteur Water-Ballast de 500 chevaux de force, pour la *Compagnie Beck* de Dunkerque, qui a été mis à l'eau l'année dernière à Saint-Denis, devant une foule peu habituée à spectacle pareil aux portes de Paris. C'est le plus grand navire lancé sur la haute Seine, depuis la corvette le *Chaptal* de Cavé, il y a trente ans. *L'Émilie* a les dimensions suivantes : longueur $66^m,30$ largeur $8^m,60$, déplacement 1,680 tonneaux, au tirant d'eau $4^m,70$. Voilure de 500 mètres.—Machine de 500 chevaux, système-pilon Compound portée sur colonnette, et avec glissière unique, deux cylindres

inégaux ayant diamètre de $0^m,65$ et $1^m,10$, avec course commune de $0^m,80$ et donnant 75 tours d'hélice.

Parmi les plans de remorqueurs à roues de l'exposition Claparède, citons ceux du *Progrès*, où par un débrayage facile, les deux roues à aubes peuvent être rendues indépendantes, afin de faciliter les évolutions, ce qui est la première condition d'un remorqueur de port. Chaque roue a son moteur Compound à deux cylindres inclinés vis-à-vis; diamètre $0^m,70$ et $1^m,20$, course commune 1 mètre, nombre de tours 40.

Il sera parlé plus loin de la machine de l'aviso le *Drac* qui constitue l'appareil principal de l'exposition Claparède.

6° Rien à l'exposition des Compagnies *Mallet*, *du Nord*, *Valery*, et *Fraissinet* qui ont un matériel important à ajouter a la flotte commerciale française.

7° A la Rochelle, la Compagnie d'*Orbigny et Faustin* a 8 paquebots à vapeur, dont l'un, l'*Atlantique* de 400 chevaux de force, en construction à Nantes par Jollet et Babin, est à l'Exposition représenté par le modèle de la coque. C'est encore un Water-Ballast, principalement affecté aux transports de houille et à celui des minerais d'Espagne; il va recevoir une machine à trois cylindres Compound du système Benjamin Normand, celui qu'on a appelé le père de la machine Compound, qu'il préconisait dans nos séances de la Société des Ingénieurs, il y a quinze ans.

8° MM. Augustin Normand et Cie ont exposé entre autres modèles ceux des deux *Hirondelles;* l'un des navires de ce nom est un bateau à roues, du Havre, avec machine diagonale Compound ayant un réservoir intermédiaire entre les deux cylindres placés l'un au dessous de l'autre angulairement dans le même plan vertical, tous deux actionnant la même manivelle.

L'autre *Hirondelle* est le yacht ci-devant impérial, à deux hélices jumelles, long de 76 mètres. A côté de lui est le modèle de la coque du *Grille*, yacht à hélice et à machine à fourreau (Trunk Engine), de Penn, que le constructeur français a fait pour le roi de Prusse, dans le temps où la Prusse demandait à nos chantiers des navires qui restent encore parmi les meilleurs de sa flotte.

Dans cette énumération sommaire de l'exposition de la marine française, on ne doit pas omettre ces sociétés privées d'encouragement imitées de l'Angleterre dont l'une, à elle seule, a distribué en neuf

années 135,000 francs de primes et récompenses. Quelques-uns de ses membres possèdent des yachts à vapeur très importants. Parmi les noms de ces hommes dévoués à nos progrès maritimes, on lit ceux de Bouruet-Aubertot, Benoît Champy, baron Seillières, de Rothschild, Loubat et Pérignon, dont plusieurs sont membres de notre Société des ingénieurs.

L'Exposition contient le modèle de *la Fauvette*, yacht de notre collègue Pérignon, long de 38 mètres, large de 6m,10, ayant 3m,60 de creux et 200 chevaux de force indiquée. C'est le premier navire qui ait traversé le canal de Suez, remorquant un yacht anglais de 200 tonneaux, et c'est ce même steamer qui a sauvé devant Cannes les 340 passagers du paquebot naufragé la *Normandie;* ce qui a valu la croix de la Légion d'honneur à notre collègue Pérignon.

L'Exposition offre aussi le dessin de *l'Eros*, grand yacht de M. de Rothschild et celui de *la Gitana* de madame de Rothschild construit en Angleterre par Thorneycroft, et ayant fourni sur le lac de Genève la belle vitesse de 21 nœuds à l'aide d'une puissance de 400 chevaux indiquée, ce qui est extraordinaire à bord d'un navire de la grandeur d'un très grand canot.

On voit par cette énumération sommaire, et non complète, combien il est vrai que la marine française est une puissante industrie honorablement représentée à l'Exposition et digne d'être encouragée.

L'Angleterre qui a tant de constructeurs et de compagnies, n'y est pas venue cette fois avec sa belle libéralité de 1867 : nous verrons quatre petits modèles de machines ; quant aux trente-huit modèles de navires, vrais modèles de musée, ils représentent largement les chantiers du Sunderland, un peu ceux de la Rivière de Glascow et à peu près un seul constructeur du reste de la Grande-Bretagne, Laird de Birkenhead sur la Mersey, qui lui, du moins a pour lui seul quatorze de ses constructions si variées, dont sept appartiennent à la marine commerciale, notamment *le Britannia* de la Royal Mail Compagnie, pour la ligne du Pacific, long de 108 mètres, sur 13 mètres de large, belle vitesse de 14 nœuds, 600 chevaux de force nominale, spardeck surmonté de deux rouffs. C'est un des rares steamers de construction récente où on ait conservé l'étrave élancée d'autrefois.

Si un petit nombre de constructeurs anglais sont représentés à l'Exposition de 1878, nous avons du moins le modèle des trois paquebots qui sont en ce moment considérés comme les merveilles de l'art

nautique anglais, tous trois à spardeck, surmontés de dunettes et rouffs, ce sont *le Britannic*, *la City of Berlin* et *la Gallia*. Au dossier sont les documents relatifs à ces trois célèbres paquebots.

Le Britannic et son pareil *le Germanic* de la *White star line*, a 142 mètres de longueur et une double machine de Maudslay, système Woolf, comme en nos transatlantiques. (Voir planche 153, figure 2.) La célérité est extraordinaire ; on met sept jours 1/2 pour la traversée de Queenstown à New-York, grâce à un développement de force motrice courante d'environ 5,000 chevaux.

2. La *City of Berlin*, de la *Compagnie Inman* a 159 mètres de longueur totale, et 155 mètres à la flottaison, c'est le plus long paquebot du monde après le *Great Eastern* dont on ne parle plus. Son étrave est élancée et porte mât de beaupré, ce qui est devenu très rare. La machine du système pilon Compound à deux cylindres est colossale, le plus grand cylindre a, dit-on, plus de 3 mètres de diamètre. Le constructeur est Caird de Greenock, sur la Clyde qui, avec Thomson de Glascow, a fourni à la France la plus grande partie de ses bâtiments d'origine étrangère.

3° La *Gallia*, dont ce dernier est auteur, est le nouveau paquebot à spardeck de la *Compagnie Cunard*, encore en chantier, où seront réunis tous les perfectionnements de la dernière heure, comme la Compagnie transatlantique vient de les réunir à bord de son *Labrador* refondu à neuf, dont il rappelle sensiblement le type. Pour l'aération intérieure, il existe sur le pont 35 manches à vent et, en cas d'événement, 12 canots sont pendus de part et d'autre du pont.

Après la France et l'Angleterre, vient, à l'Exposition, l'Italie et on aurait pu voir l'Espagne qui a des flottes faisant sérieusement concurrence aux nôtres. Elle aurait pu nous faire connaître son *Alphonse XII*, réputé l'un des plus beaux paquebots connus, et ses petits steamers dont un, *le Roëlas*, est un des plus jolis marcheurs connus avec une grande économie de consommation et de belles qualités nautiques.

L'Italie a des chantiers et ateliers maritimes importants. Celui de Genesi Saint Pierre d'Arena s'était déjà fait connaître aux Expositions précédentes. On parlera bientôt de celui de la Spézia.

Les frères Orlando en ont un à Livourne, qui couvre 60,000 mètres carrés de terrain, avec 2 kilomètres de voies ferrées, trois grands bassins de radoub, plus les cales glissantes de construction et le cha-

riot de radoub dit Slip-Way-Patent-Morton, comme celui que M. de Quillacq est en voie d'installer à Dunkerque.

Les chantiers de Livourne (voir notice, N° V.) ont exposé divers plans et modèles de steamers et voiliers, notamment celui de l'*Ortigia* de 1,400 chevaux et 93 mètres de long, et en construction ils ont le *Lepanto*, vaisseau à tourelles qui déplacera 15,500 tonneaux.

Reste à parler de l'Amérique et de l'Allemagne, la première, seconde puissance maritime du globe, était autrefois célèbre dans nos ports français par ses voiliers, qui n'avaient guère de rivaux. Ses paquebots à vapeur ont longtemps fait exclusivement le service entre New-York et le Havre où l'on se souvient du *Humbolt*, du *Franklin*, de l'*Arago*, du *Fulton*, ainsi que du *Vanderbilt* et de l'*Adriatic*, qui ont été décrits dans nos *Bulletins*. Bien que nos ports français aient aujourd'hui des paquebots français, ils comptent encore des paquebots américains, parmi ceux de toutes nations qui viennent nous y disputer le fret; l'une de ces compagnies américaines à fait hommage à notre Société d'une photographie de l'*Ohio*, l'un de ses principaux paquebots venant au Havre.

La section américaine nous montre aussi au Champ de Mars un grand nombre de dessins, soit de ses paquebots maritimes assez semblables à ceux d'Europe, bien que le bois entre encore souvent pour tout ou partie dans la construction de la coque et le bâti des machines avec un grand art, soit de ses bâtiments fluviaux si curieux sur lesquels nous reviendrons ci-après.

L'Allemagne a refusé, on le sait, son concours à l'Exposition de 1878, au risque de faire dire qu'elle avait peur de s'y mesurer avec les autres peuples. Répondons-lui par la justice, ce sentiment si français et disons que sa marine, la cinquième du globe, qui nous fait dans l'Océan une si terrible concurrence, eût pu exposer de très beaux modèles, sortis de ses ateliers indigènes, au moins pour la marine de l'État, car ses paquebots de Brême et de Hambourg, qui viennent au Havre après avoir fait la cueillette à tous prix sur tout le littoral à leur passage, sont jusqu'ici tous d'origine anglaise; mais la marine de l'État est déjà en possession de nombreux bâtiments de construction indigène. Au dossier on trouvera les dimensions principales du cuirassé *König-Friedrick* et du yacht impérial le *Hohenzollern*, qui ne s'écartent d'ailleurs pas des traditions actuelles de tous les autres peuples.

Étudiée dans son ensemble, l'exposition de la marine commerciale donne lieu aux remarques suivantes :

1° Les navires à vapeur tendent de plus en plus à remplacer les voiliers. Cependant le règne de ceux-ci n'est point fini et nous voyons à l'Exposition les nombreux modèles de ceux qui ont été récemment construits en Angleterre, en Norwège, en Italie et en France. Le voilier reste encore le bâtiment logique des transports à bon marché et des traversées *ad libitum* vers les parages où l'on ne doit trouver ni le charbon, ni les moyens de réparation que veut le navire à vapeur.

2° Sauf en Amérique où on fait encore usage du bois, tous les navires à vapeur de la marine commerciale se construisent en fer, et il en est de même souvent des voiliers, dont les formes ressemblent aujourd'hui tellement à celles des steamers qu'on croirait qu'ils doivent recevoir un jour une machine motrice.

Ces constructions se font dans la Grande-Bretagne avec une rapidité, une sûreté de main et un bon marché qui découragent les autres peuples. La raison en est que les constructeurs, quoique très nombreux, travaillent pour tout le monde entier, et la fabrication courante en grand des navires est montée comme l'était en France celle des locomotives commandées par série, ce qui permet ces installations d'ensemble et ces appropriations d'outillage qui sont si économiques.

Dans le dernier hiver onze navires pareils étaient en chantier chez un constructeur de la Clyde et le moindre de ses voisins en avait deux. Le placement est si facile, même dans la marine anglaise qui possède à elle seule autant de navires que le reste du monde, qu'on construit d'avance, et quand l'offre dépasse un peu la demande, on trouve de suite un beau paquebot à un bon marché fabuleux auquel contribuent aussi des conditions locales exceptionnelles, et le bas prix des matières premières dans cette mère patrie de la houille et du fer.

Le sort de nos chantiers français est bien différent et ils sont heureux quand ils peuvent faire succéder un navire à un autre, en conservant leurs ouvriers formés. Le plus grand éloge qu'on puisse faire de nos ouvriers, de nos ingénieurs et de leur outillage est qu'ayant souvent tout à apprendre ou à réapprendre, nos navires ne sont en rien au-dessous de leurs similaires descendus des chantiers les mieux exercés par la pratique courante et ancienne. Témoin *le Yang-Tsé, le Saint-Laurent, la France* et autres désignés ci-dessus. N'était la question de prix et celle de la rapidité d'exécution, la marine française n'aurait sans doute pas un navire qui ne fût construit en France.

3° Dans le système général de la construction, à la différence de la

marine militaire, où nous avons vu tant de variété, les paquebots de commerce n'appartiennent plus qu'à un très petit nombre de types, aussi bien pour les dimensions que pour les formes.

Toutes les poupes d'aujourd'hui sont à peu près rondes en haut, d'une très grande finesse en bas. Il y a des étraves droites ou élancées comme autrefois avec ou sans mât de beaupré, et quelquefois un peu en forme d'éperon, il y a des navires à rouff avec allées latérales commme *le Pereire* à l'Exposition, ou bien avec ce pont complet dit spardeck qui donne un étage de plus comme l'Exposition nous le montre dans *la France*, *le Labrador*, *la City of Berlin*, *la Gallia*. Enfin sur le spardeck s'élèvent encore souvent des rouffs ou dunettes à plusieurs étages, comme sur *le Britannic*.

Il y a des variantes dans le gréement et dans le nombre des mâts qui est quelquefois porté à quatre, comme sur *le Britannic* et autres grands paquebots de la *White-star-line* et de la *National Company*, et voilà à peu près toutes les différences à signaler dans la marine commerciale actuelle.

Peu de variations aussi dans l'aménagement des navires à service mixte de marchandises et de passagers des trois classes qui est l'ordinaire. La planche 151, en donnant la représentation du *Labrador*, donne le type à peu près usité partout en ce moment.

4° L'allongement des coques est le fait dominant. En France il y a encore de la timidité à cet égard : *le Labrador* de la Compagnie transatlantique a 120 mètres sur $13^m,60$ de large, soit $8^m,7$ pour rapport. *Le Yang-Tzé* et ses onze pareils des messageries ont 125 mètres sur 12 mètres de large, soit $10^m,4$ pour rapport; le paquebot la *France*, le plus long de la *Compagnie des transports* et de notre marine, a 130 mètres sur $11^m,40$, soit 11 pour rapport.

En Angleterre, la longueur de 140 mètres sur 45 pieds de largeur, soit 13,80, devient presque usuelle. Ce sont les dimensions du *Britannic*.

La Compagnie Inman, outre trois paquebots de cette taille, a *la City of Berlin*, longueur de 155 mètres à la flottaison et en tout 169 mètres sur $13^m,68$, soit 11,75 pour rapport. On va donc de plus en plus vers les proportions de ce pauvre *Great-Eastern*, lequel, disait Flachat, avait le tort de trop devancer le temps.

Ces allongements donnent un grand tonnage, tout en permettant d'effiler les façons extrêmes au profit de la vitesse, car la résistance du

navire à la marche, sans être indépendante de la longueur comme on l'a dit quelquefois, croît bien plus rapidement avec la maîtresse-section. Le navire est en outre mieux porté sur les vagues, dont le maximum d'amplitude ne va guère au delà de 50 à 60 mètres.

Où s'arrêtera cet allongement des navires? Il faut demander la réponse à ceux de nos ingénieurs qui s'occupent avec tant de science et d'autorité des ponts et autres grandes constructions en fer, avec lesquelles les coques de navire ont tant de rapport et dont trop peu d'entre eux se sont jusqu'ici occupés. Déjà nous en faisions l'observation pour les bâtiments de guerre en fer, deux problèmes différents; dans l'un ce sont des longueurs considérables aux prises avec des efforts des vagues qu'on a mesurés a raison de 80 tonnes par mètre carré, et le maximum de légèreté doit s'allier au maximum de solidité. Dans le bâtiment de guerre la construction métallique est plus ramassée et plus compacte, l'ingénieur est plus à l'aise pour l'immersion de la coque et la force des pièces; mais la charge est bien loin de pouvoir être uniformément répartie; les canons avec affûts, tourelles, armatures et accessoires pèsent 300 tonnes à certaines places de moins de 50 mètres carrés.

5° Plusieurs dessins réunis au dossier des documents et notre planche 151 indiquent comment est divisé l'intérieur des paquebots.

Un des points les plus étudiés en ces derniers temps est la ventilation. Nous avons vu le système de la marine militaire sur le transport l'*Annamite* et le garde-côtes le *Fulminant* au moyen de conduits d'air et de cheminée d'appel; la marine commerciale ne paraît en être encore qu'aux manches à vent qu'on s'applique à multiplier dans les chambres et soutes des divers étages. *La City of Berlin* en a 16, *le Labrador* en a 25, *la Gallia* en aura 35 du plus fort échantillon.

6° La vitesse des paquebots d'aujourd'hui n'est pas moins merveilleuse que dans la marine militaire. Les grands marcheurs donnent couramment aux essais 16 à 17 nœuds, et quelques-uns le maintiennent couramment dans les traversées; mais dans les grands paquebots, nous avons vu que de pareils prodiges correspondant à des puissances de 5,000 chevaux indiqués, produisent des secousses pénibles aux passagers, hâtent le déclincage et ne sont permis qu'aux vieilles et riches Compagnies pouvant se passer les tours de force, quand elles ont la vogue. Comme nos locomotives, les navires ont aujourd'hui la

capacité d'aller très vite et ils en usent pour regagner les retards, mais la vitesse de 12 à 13 nœuds reste encore la moyenne normale et sage des services réguliers de navigation à vapeur où l'on arrive presque à jour fixe.

7° Un dernier point qui frappe le visiteur à l'exposition maritime, est d'admirer comme le fer se prête à toutes les formes voulues, même pour l'élégance de la coupe la plus fine, et comme l'emploi des engins mécaniques se généralise à bord pour tous services : treuils, grues, guindeaux, gouvernails, ventilateurs, calorifères et glacières, bains, monte-charge, cuisine, signaux avertisseurs depuis le classique sifflet jusqu'à la formidable sirène; tout aujourd'hui tend à être automatique à bord par la vapeur, l'air où la force hydraulique. On installe les voilures à manœuvre *selfacting*, les foyers de chaudière se chargeant et les soutes se vidant par des appareils automoteurs.

III

NAVIRES A ROUES DU SERVICE MARITIME

L'hélice est aujourd'hui le propulseur exclusif des bâtiments de guerre, des porteurs de marchandises, houille, minerais, etc., même au cabotage et des paquebots de grande traversée, il y a ordinairement une seule hélice dans une cage en avant du gouvernail, mais il existe aussi des bâtiments à deux hélices jumelles. La Compagnie transatlantique française en possède cinq, dont *la Ville de Saint-Nazaire* était à l'Exposition. Les hélices jumelles sont fréquentes dans la marine militaire française et anglaise, exemple, l'*Amiral Duperré*, vaisseau de première classe et la batterie *Palmer*.

Les roues à aubes restent le propulseur accoutumé, non seulement des rapides bateaux de lacs et rivières qui vont faire l'objet d'un article spécial ci-après, mais des remorqueurs dans les ports (voir expositions des Chambres de commerce) et des paquebots à voyageurs de courte traversée analogues à celles de la Manche et du canal Saint-Georges.

L'Exposition en a plusieurs spécimens. La France qui en a construit

très peu a, dans sa section de l'Exposition, le modèle de la coque et le dessin de la machine de *l'Hirondelle* de M. Normand ; c'est un des plus jolis bateaux du Havre à étrave élancée, la machine est bien entendu du système Compound, cylindres l'un au-dessus de l'autre, obliquement en commandant la même paire de manivelles ; sa puissance est de 400 chevaux indiqués.

L'exposition de Claparède et celle des Chambres de commerce nous montrent les modèles ou plans d'un assez grand nombre de remorqueurs à roues, notamment celui du port de Brest, l'*Infatigable*, de la force de 1,000 chevaux indiqués. (Voir la notice IV).

C'est l'Angleterre qui a la spécialité de ces beaux paquebots rapides à roues que nous voyons au Havre, à Boulogne, à Dieppe. L'Exposition en présente deux spécimens. (Voir document n° VII. C. et D.) L'un de M. Laird, nommé *Rose*, l'autre d'Elder, appelé *Victoria*. Sur tous deux le pont est couvert de l'avant jusqu'aux roues d'une teugue qui permet de traverser la vague et d'aller devant soi, quelque temps qu'il fasse sans embarquer l'eau. L'entre-deux des roues est ponté dans le sens proprement dit du mot. Sur l'arrière s'élève une vaste dunette qui est le salon.

Les machines de ces paquebots, du type dit diagonal Compound, sont de 300 à 400 chevaux nominaux, et leur vitesse est remarquable ; la *Victoria* d'Elder a fourni 17 nœuds aux essais.

Bien que non représentés à l'Exposition, nous avons donné au dossier des documents les dimensions du *Limerick*, paquebot à roues du même genre pour le service du canal Saint-Georges et celle du yacht impérial allemand le *Hohenzollern*. (Voir documents n° VIII.)

IV

NAVIGATION FLUVIALE

Les bateaux pour lacs et rivières ont un très grand intérêt à l'Exposition. Ils appartiennent aux sections autrichiennes, hollandaises, anglaises, suisses et américaines. Le Danube, le Rhin, la Meuse et l'Escaut, la Clyde, la Mersey, la Tamise et autres, les lacs helvétiques

et écossais et par-dessus toutes les voies d'eau du Nouveau-Monde, offrent les conditions de la plus belle navigation : eaux profondes et larges, pas de ponts, peu de tempêtes sérieuses. Les coques reçoivent donc à très peu près ces formes marines, et une immersion propre aux qualités nautiques. Des installations vastes et élégantes peuvent être offertes aux passagers, sans craindre une élévation qui exposerait à l'impossibilité de franchir certaines passes. On n'en est pas encore en Europe à ces bateaux américains, qui ont plusieurs étages et sont de véritables hôtels flottants, mais les nations ci-dessus ont toutes aujourd'hui sur leurs cours d'eaux ou lacs, des bateaux dont le pont proprement dit est surmonté d'un grand rouff ponté lui-même et formant étage supérieur, où sont des salons ordinairement très luxueux et que de grandes fenêtres éclairent dans tout le pourtour.

1° L'exposition anglaise a *la Colomba,* Thomson de Glascow constructeur ; c'est une des plus belles œuvres en son genre, sur laquelle nous n'avons malheureusement pas de documents.

2° La Hollande réunit dans un même encadrement cinq modèles de ses bateaux de la Meuse et de l'Escaut, construits à Kinderdyk par Smit et Zoon qui ont bien voulu nous envoyer le tableau des dimensions principales. On remarquera *le Deutscher-Kaiser,* ayant 80 mètres de long, sur 7^{m},32 de large et il est muni, sur le pont, d'un rouff-salon de bout en bout. C'est un très beau type. (Voir pièces VIII. b.)

L'*Autriche,* à la dernière Exposition, nous a fourni le type de chaudières tubulaires en retour de cylindre qui est adopté aujourd'hui dans toute la marine. Aussi quand on veut désigner ce type on l'appelle *chaudière Autrichienne* ou *chaudière du Danube.* Cette fois nous avons à l'Exposition les modèles des divers bateaux à deux étages ou à rouff-salon, qui desservent le Danube et ses affluents et qui ont été construits aux ateliers de Bude, par l'ingénieur Murray-Jackson, le vétéran de la navigation fluviale, que sa famille a créée en Suisse et plus anciennement encore sur la Saône. La flottille du Danube est l'une des plus importantes qui existent. La Société impériale, à elle seule, possède environ 200 steamers et 800 chalands de transports.

On remarquera parmi les onze types exposés, le steamer *Orient,* long de 75 mètres sur 8^{m},24 de large, 200 chevaux de force nominale. Les deux étages sont complets ; outre les salons, ils renferment 224 lits

de première et seconde classes, car sur le Danube, le voyage dure plusieurs jours.

Seront aussi examinés par les visiteurs de l'Exposition *la Marie-Valerie*, l'*Elisabeth*, et le puissant remorqueur de 200 chevaux l'*Achille*. — Les deux premiers du même système que l'*Orient*, c'est-à-dire avec dunettes sur le pont plus ou moins complètes, et le troisième assez conforme à nos types français.

La Suisse a aussi sur ses lacs de très belles flottilles, où les principaux paquebots sont comme les précédents à deux étages, c'est-à-dire, avec dunette-salon. Deux grands ateliers les construisent, et l'un d'eux, celui d'Escher et Wyss, à Zurich, depuis vingt ans en a livré 308 d'une force collective de 60,000 chevaux. Cette maison, ainsi que sa rivale de Winterthur, dirigée par Sulzer n'ont à l'Exposition que des dessins peu complets : *L'Helvétia* et *la Germania* d'Escher, *le Greiff* et *le Schweitz* de Sulzer, sont de très beaux bateaux sur lesquels les constructeurs ont promis des renseignements.

La navigation fluviale continue à être une des curiosités industrielles de l'Amérique. L'Exposition nous montre divers spécimens de ces navires et M. Watson, commissaire des États-Unis, a fait hommage à la Société des divers dessins.

Ce sont toujours ces immenses édifices flottants si rapides, où les salons d'une splendeur inouïe, les magasins, chambres et galeries s'élevant les uns au-dessus des autres sur une coque proprement dite presqu'à fleur d'eau, et d'une très faible immersion et munies pour empêcher la déformation longitudinale d'une paire d'armatures sorte de bow-string, n'ayant rien d'analogue sur nos navires. L'Amérique continue de même à être fidèle à ces singulières machines à balancier supérieur, cylindre unique, grande course, et très haute pression qui sont, elles aussi, si peu dans les habitudes européennes et qu'on a vu, même dans les grands transatlantiques venus dans nos ports.

Outre les dessins de la flotte proprement dite des fleuves et lacs du Nouveau-Monde, l'Exposition nous montre ceux, non moins curieux, du matériel accessoire employé à assurer la viabilité de ces voies d'eau si accidentées et souvent, paraît-il, entravées par des bas-fonds qui naissent et par des arbres ou débris de toutes sortes qu'entraînent les orages. Pour les premiers, se sont des dragues et des bateaux armés de pompes à sable. Pour les seconds, ce sont des *bateaux-scieurs* munis de formidables scies à vapeur qui débitent sur place dans l'eau

les arbres et poutres, qu'on recueille ou dont on abandonne les fragments au courant.

La France n'a rien exposé relativement à la navigation fluviale ; elle a eu et elle a encore des types très intéressants eu égard aux difficultés locales qui se sont réunies partout : lits étroits, sinueux et rapides offrant en certains temps moins de un mètre de tirant d'eau, multitude de ponts bas et étroits, sous lesquels le courant est parfois torrentueux, telles sont les conditions de nos rivières françaises, dont quelques-unes ont été améliorées cependant depuis quelques années. L'histoire de la navigation de la Seine, de la Loire, de la Garonne, de la Saône et du Rhône, celles des bateaux de Cavé, Forquenot, Cochot, Gâche et du Creuzot seraient d'un grand intérêt. Sur le Rhône on était parvenu à faire des bateaux à voyageurs de 500 chevaux de force, filant à la descente 40 kilomètres à l'heure et à la montée 20 à 24 kilomètres. Pour les marchandises on a eu des porteurs de 600 chevaux allongés successivement jusqu'à 153 mètres. Aujourd'hui on ne dépasse pas les 120 à 130 mètres.

Le Creuzot compte avec raison parmi ses plus belles œuvres ses travaux de navigation fluviale. Ils ont compris en trente années 52 steamers construits généralement sur son type avec machine horizontale à haute pression, qui bientôt devint classique et l'on trouvera au dossier une notice que cette grande maison a bien voulu rédiger à l'occasion du présent compte rendu. (Voir notice autographie 11 bis.)

Enfin il y a sur la Seine et pouvant se rattacher à l'Exposition deux types de bateaux de rivière qui se passent de description : Ce sont les bateaux-omnibus, au nombre de 80 qui font l'actif service dont nous sommes les témoins, les *Mouches*, ont été construites, savoir : les petites à Lyon par Chevallier d'après un modèle existant déjà sur la Saône, les dernières de grand type par la maison Cail. Les *Hirondelles* sortent des chantiers d'Argenteuil, mues par hélice, comme les *Mouches*, on sait qu'elles sont à deux étages et qu'elles ont des machines de 80 chevaux de force. Elles rappellent le type du *Galilée* proposé en 1867, par Claparède et qu'on a vu traversant Paris. (Voir notice IV. Page 28, modèle à l'Exposition.)

V

MACHINES DE NAVIGATION.

Longtemps chaque constructeur s'est personnifié dans son système ; et comme l'Angleterre a une centaine de constructeurs, il y existait une multitude de types de machines marines.

La France a eu aussi les siens, dont trois ont eu leur célébrité : Pour les bateaux à roues, la machine oscillante de Cavé et la machine directe horizontale à hauteur du pont du Creuzot. Ces deux systèmes employaient la vapeur à haute pression avec introduction et sortie de vapeur par orifices et obturateurs différents sans conduits intermédiaires, en un mot, ils contenaient l'idée fondamentale des machines si à la mode en ce moment.

La machine à hélice avait aussi son type français, de M. Dupuy de Lôme, à cylindres horizontaux juxtaposés et bielle en retour, si compacte, si peu spacieuse et si bien reliée, qui se voyait dans les paquebots tels que *le Danube* des Messageries maritimes, aussi bien que dans les navires de guerre. Mazeline et Claparède en ont fait des variétés qui ont eu un grand nombre d'exemplaires.

Aujourd'hui la variété a fait partout place à un très petit nombre de types adoptés partout, sauf quelques particularités de détails, soit avec les roues à aubes, soit avec l'hélice. Nous avons vu en quel cas l'un et l'autre propulseur continue à être employé.

Avec les roues à aubes, la machine appartient presque exclusivement aujourd'hui au sytème oscillant de Penn et au type à cylindres fixes et mouvement direct dit de locomotive dans un plan incliné, d'où vient au système le nom de machine diagonale. L'exposition suisse nous en montre des spécimens dans les albums et dessins de ses bateaux de lacs. Ainsi va être la quadruple machine d'un gros remorqueur pour le port de Dunkerque qui s'achève aux établissements de Claparède, avec cette particularité que les roues peuvent fonctionner isolément par le désembrayage facultatif de deux groupes de machines, en sorte que le navire peut presque évoluer sur lui-même.

Pour les bâtiments à hélice on pouvait, il y a quelque temps,

compter deux types caractérisés : la machine horizontale directe ou à bielle en retour pour les bâtiments de guerre ; et pour les paquebots de commerce et les transports, la machine verticale dite pilon, ayant les cylindres en haut de deux montants, comme dans le marteau-pilon des forges.

Nous voyons à l'Exposition, au moins dans la section française, que la machine-pilon s'adapte maintenant aux bâtiments de guerre ; exemple, les vaisseaux *Duperré* et *Dévastation* (Voir notice I et II.) et il est probable que la machine-pilon deviendra bientôt la règle générale, au moins en France.

L'Exposition nous montre néanmoins que la machine horizontale n'a pas encore fait son temps ; exemple la machine d'Indret et celle de Claparède, ainsi que les dessins de celles du *Redoutable* et du *Tourville*, exposés à l'annexe du Creuzot, ou à la vitrine des forges et chantiers.

Quelle que soit la disposition du mécanisme, il y a pour le fonctionnement de la vapeur un principe aujourd'hui d'une application à peu près générale. C'est la haute pression de la vapeur, quatre à cinq atmosphères, détente dans des cylindres successifs, soit par le système Woolf (admission cylindrée pour cylindrée ou points morts concordants), soit par le principe Compound proprement dit, avec points morts discordants.

Deux exceptions sont cependant à l'Exposition, l'une dans la section anglaise, l'autre dans la section hollandaise. Celle-ci présente le plan à grande échelle d'une machine de frégate à deux cylindres égaux, dans chacun desquels il y a détente ordinaire de la vapeur après introduction interrompue. C'est la machine ancienne qui a été tout simplement mise à haute pression.

C'est la protestation contre le système Compound ainsi que l'expression de la rotation rapide, l'hélice donne 90 tours.

La machine anglaise n'est rien moins que celle du constructeur Penn et, bien qu'à l'état de petit modèle, c'est un des articles les plus importants de l'Exposition maritime. Elle appartient à la forme Pilon-Compound, trois cylindres égaux, avec leur distribution respective par excentriques et coulisses ordinaires, plus des tiroirs de détentes, en tout douze excentriques et leurs dépendances ; mais le tout est organisé de telle sorte qu'on peut à volonté, ou bien admettre la vapeur à la fois dans les trois cylindres pendant une fraction de la course, avec

détente suivant l'ancien mode, ou bien on peut fonctionner dans le système Compound proprement dit, c'est-à-dire introduire dans un seul des trois cylindres plus ou moins à pleine course, et détendre ensuite dans les deux autres cylindres.

On ne saurait avoir trop les yeux sur les bâtiments qui vont être pourvus de ce double principe, qui jugera la question de préférence dans des conditions égales impossibles à réunir autrement. La machine pourra ainsi, nous a-t-il été affirmé, passer presque subitement de sa force ordinaire de 1800 chevaux, avec le Compound, à celle de 5,000 chevaux qu'on pense soutenir avec la vapeur aux trois cylindres au moins assez longtemps dans les cas désespérés, par exemple sur sur un navire de guerre pour se dérober devant un danger ou pour donner le coup d'éperon.

A part ces deux types spéciaux de la Hollande et de Penn, on peut dire aujourd'hui que toutes les machines marines appartiennent au système Woolf ou Compound.

On confond trop facilement dans l'habitude les deux systèmes et on donne le nom de machine Compound, c'est-à-dire composée, à toutes celles où la vapeur est employée deux fois successives, d'abord dans un premier cylindre, dit à haute pression, à sa venue des chaudières, puis dans un ou plusieurs cylindres dits à basse pression où elle se détend en un plus grand espace.

Notre collègue, M. Mallet, qui a fait à la Société des Ingénieurs en 1873 et 1877, une savante communication si complète sur le principe Compound, qu'il applique aussi aux locomotives, a eu soin de préciser qu'il se spécialise par la discordance des points morts des pistons, par le calage respectivement angulaire des manivelles de l'arbre moteur, et ordinairement par l'existence d'un réservoir intermédiaire entre les deux cylindres, où on pourrait au besoin réchauffer la vapeur. Mais on arrive assez souvent à supprimer le réservoir, et ce qui appartient surtout au principe Compound, c'est la distribution propre à chaque cylindre rendu ainsi indépendant sans concordance voulue entre les points morts des pistons; tandis que dans le principe Woolf proprement dit, il y a au contraire concordance, admission de vapeur cylindrée pour cylindrée, souvent distribution commune, dépendance absolue du petit cylindre et du grand cylindre de détente sur les mêmes manivelles, enfin impossibilité de conjuguer celles-ci angulairement et nécessité d'appliquer à l'actionnement de l'arbre moteur

deux machines, d'une paire de cylindres chaque, pour obtenir ce croisement à angle droit des manivelles qui fait franchir les points morts et régulariser le mouvement.

La marine réalise les deux principes par différents types de machines résumés dans les planches 152 et 154 et tous représentés à l'Exposition, au moins sous forme de dessin ou modèle.

Nous regrettons, faute de renseignements suffisants, de ne pas les représenter ici à la même échelle comparative; mais il ne s'agit ici que d'indiquer des dispositions et agencements caractéristiques indépendants des dimensions.

Dans le principe Woolf nous avons deux types caractéristiques, celui de Maudslay et celui de Nillus. (Voir planche 153.)

Le *système Maudslay* est celui du *Britannic* en Angleterre et celui de cinq paquebots de la Compagnie transatlantique française (deux sont construits en France). On voit qu'il y a deux groupes composés chacun d'une paire de cylindres inégaux, et que les deux paires conjuguent leur action par les manivelles à angle droit sur le même arbre porte-hélice.

La vapeur venant des chaudières à quatre atmosphères de pression est introduite dans les petits cylindres supérieurs et, par un jeu convenable de conduits et tiroirs actionnés par le même excentrique, elle va se détendre dans les cylindres inférieurs beaucoup plus grands, course à course dans le même sens. C'est le principe Woolf dans sa pureté.

Dans notre marine militaire, le même principe avec cylindres bout à bout est appliqué horizontalement à des vaisseaux de premier rang de 6,000 et 8,000 chevaux, avec trois et quatre paires de cylindres.

L'autre type de la même planche appelé improprement Compound est en réalité une machine Woolf où les cylindres inégaux sont côte à côte avec distribution commune course à course, mais alternativement comme les flèches l'indiquent sur le dessin. La vapeur venant des chaudières entre dans le petit cylindre, dit de haute pression, par le jeu d'un tiroir à divers compartiments et elle passe ensuite course pour course au grand cylindre à basse pression.

Cette figure se rapporte à un navire à deux hélices construit par Nillus du Havre. Chaque cylindre a son arbre correspondant, et c'est dans le travers du navire que la machine nous est représentée par le dessin. Pour obtenir la conjugaison par manivelle à angle droit sur le même

arbre, il y a en avant des cylindres de la figure une autre paire de cylindres semblables, en un mot, il y a deux machines Woolf indépendantes et conjuguant deux à deux leur action, et par conséquent en tout quatre cylindres comme dans le système Maudslay, mais tous à même hauteur et dans le même plan.

2° Le principe Compound proprement dit et dans sa plus complète expression était représenté à l'Exposition par la machine de Claparède, horizontale à deux cylindres inégaux, manivelles à angle droit et avec réservoir intermédiaire, celui-ci ayant la forme extérieure du grand cylindre de détente auquel il est symétrique et contenant le petit cylindre à haute pression avec sa boîte de distribution. Voir planche 151 1° la coupe et plan; 2° la coupe verticale et le plan par l'axe du grand cylindre, et 3° la vue extérieure correspondante. Ce type a de nombreux exemplaires de diverses forces en service.

La planche 152 donne un autre type Compound, — pilon à deux cylindres inégaux sans réservoir d'enveloppe, et avec manivelles à angle droit. C'est un système de la Compagnie des forges et chantiers qui a également ses exemplaires en service, et on remarquera ses bâtis en colonnettes portant les cylindres, au lieu des montants du genre pilon qui caractérisent les types de la planche 153.

Le principe Compound se réalise souvent aussi avec trois cylindres égaux, celui du milieu recevant la vapeur à haute pression des chaudières et les deux autres servant à la détente, chacun ayant sa distribution avec excentrique, tantôt sur l'arbre porte-hélice lui-même, tantôt sur un arbre spécial relié à l'arbre principal par engrenages ou autrement. Dans ce cas des machines à trois cylindres, les manivelles sont généralement calées respectivement à 120 degrés.

Ainsi étaient à l'Exposition la machine précitée de Penn et plusieurs autres de premier ordre sur lesquelles nous allons revenir, et ce système à trois cylindres s'applique aussi aux machines relativement petites, exemple le nouveau paquebot de 1,000 tonneaux de la Compagnie d'Orbigny, de La Rochelle et les torpilleurs de Claparède.

Dans son matériel transformé la Compagnie transatlantique a un paquebot qui donne lieu à de très intéressantes études. C'est *le Pereire*. Primitivement sa machine n'était autre que celle de la planche 153, moins les deux petits cylindres du haut et leurs dépendances, et elle fonctionnait alors à basse pression.

La modification de 1873 consiste dans le remplacement des chau-

dières portées à cinq atmosphères et dans l'addition d'un troisième cylindre à la suite des deux autres sur l'avant, ceux-ci servent maintenant pour la détente, et c'est le cylindre ajouté qui reçoit de la chaudière la vapeur à haute pression avec introduction en tout ou en partie de la course.

Nos collègues, Eugène Pereire, directeur, et Audenet, ingénieur en chef, qui nous ont déjà fourni des renseignements d'étude avec tant d'empressement ont remis à la Société, cette fois, le tracé graphique faisant l'objet de la planche 152, où l'on voit toute l'histoire du *Pereire*, avant et après la transformation. Elle est fort instructive, car le bâtiment est resté le même, et les conditions ont été entièrement identiques pour les deux périodes comparées.

On voit que la ligne des consommations s'est notablement abaissée et que des résultats considérables ont été obtenus par la haute pression, la détente et le principe Compound, toutes choses restant égales. Primitivement la dépense de charbon variait par voyage de 1700 à 2400 tonnes.

On voit que depuis la transformation on ne dépasse que très exceptionnellement 1600 tonnes, même dans les mauvaises traversées, et qu'on est descendu jusqu'à 1400. En résumé, la dépense moyenne courante et pratique descend au-dessous de 1 kilog.

D'autre part, la machine a pris une rondeur de marche et une douceur de mouvement nécessaires dans un paquebot qui, étant le coureur par excellence de la Compagnie, est pour ainsi dire lancé à toute vitesse.

A la différence du *Pereire*, son similaire *la Ville de Paris* a été transformée suivant le système Maudslay de la planche 151 par l'addition de deux petits cylindres au-dessus des deux grands cylindres primitifs, qui ne sont plus devenus, comme dans *le Pereire*, que les cylindres détendeurs. Sauf ce mode de transformation pour haute pression et détente, tout est absolument pareil dans les deux paquebots, et c'est la même machine convertie d'une part en Compound à trois cylindres et de l'autre en Woolf à deux paires de cylindres.

Malheureusement des particularités de services n'ont pas permis de comparer exactement les deux principes. Mais ce qu'on peut du moins conclure des tracés graphiques analogues à celui de la planche 152, pour les divers paquebots de la Compagnie transatlantique qui m'ont été communiqués et notamment pour *la Ville de Paris*, c'est que toutes

proportions gardées, la transformation par la haute pression et la détente a eu des résultats économiques considérables pour tous les systèmes.

Le nombre des types de machines marines étant devenu si peu nombreux, on ne devait pas s'attendre à voir à l'Exposition de Paris beaucoup de ces appareils qui sont si dispendieux à transporter et à monter.

Les galeries anglaises ont quatre modèles, savoir :

1° Maudslay, type Woolf du *Britannic* et de cinq de nos paquebots transatlantiques (2 construits en France). Voir planche 153.

2° Penn, machine oscillante pour steamers à roues.

3° Penn, machine horizontale à fourreau et piston annulaire (Trunk Engine) pour navire à hélice.

4° Penn, machine verticale pilon à trois cylindres pour le navire italien *Christoforo-Colombo*.

Les deux premières machines de Penn sont bien connues.

La troisième est celle dont il a été parlé ci-dessus, ayant la particularité de pouvoir à volonté, marcher soit à détente directe dans les trois cylindres, soit par le principe Compound avec admission dans l'un des cylindres et détente dans les deux autres.

Ajoutons quelques petites machines pour canot, notamment celle de Lewin, de Londres, type pilon avec mouvement de locomotive à deux cylindres en introduction directe. C'est donc encore une protestation au Compound.

Les autres sections de l'Exposition étrangère nous offrent :

1° Les plans de la machine hollandaise horizontale à deux cylindres avec admission directe pour frégate, dont il a été parlé. Voici les principales dimensions :

Deux cylindres, diamètre.	$1^{m}85$
Course	0 66
Introduction de 0,10 à	0 30
Nombre de tours	90
Surface condensante	$7\ 25^{mq}$
— de chauffe	1 000
— de grille	40
Pression vapeur	4^{atm}

Puissance nominale. 400ch
— indiquée aux essais. 2 709

2° La petite machine suédoise de M. Goëtsborgs, à Gottenbourg, pilon Woolf, un seul tiroir distributeur, manivelles à 180 degrés.

3° Les deux petites machines russes, l'une de M. *Chrichton*, à admission directe dans les deux cylindres, l'autre de M. *Fohebischef*, à un seul cylindre avec mécanisme à levier, du genre bien connu de M. Brown, en Suisse, en sorte que la course égale quatre fois la manivelle.

4° Les deux petites machines suisses d'Escher, de Zurich et des ateliers de Winterthur, type pilon Compound, bien agencées, bien construites, mais sans particularité.

La France a fourni seule le contingent des grandes machines marines en nature de l'Exposition. Il y en a trois savoir : celles d'Indret, de Claparède et du Creuzot, auxquelles s'ajoutent sept petites machines de yacht, de canot, plus un grand nombre de modèles ou dessins de machines en service représentant tous les types usuels. Chaque exposant a joint une notice au dossier annexé à la présente note et nous reproduirons seulement ici les particularités principales :

1° Machine du vaisseau le *Tonnant*, construite aux ateliers de la marine nationale, d'*Indret*, type à trois cylindres Compound, horizontale, bielle en retour, système Dupuy de Lôme, deux condenseurs avec turbine à moteur spécial pour la circulation d'eau. Le tout abordable et bien dégagé pour l'entretien et la visite; grande abondance de pièces en bronze et de pièces à nervures saillantes que nous nous permettons de regretter, car elles sont le réceptacle inévitable de ces poussières grasses qu'on n'enlève que par un entretien laborieux. La machine est garnie d'une multitude d'appareils accessoires très intéressants sous formes de robinets et autres qui demanderaient chacun une communication spéciale, notamment : graisseur automatique, épurateur d'eau alimentaire par lait de chaux, etc.

La particularité principale de cette machine Compound est qu'elle a des cylindres égaux de diamètre, mais que celui du milieu a moins de course de piston; suivent les dimensions :

Trois cylindres, diamètre.		1m30
Courses	cylindre d'introduction	0 50
	de détente	0 70

Nombre de tours.	95
Surface de condensation	327^{mq}
Surface de chauffe	453
Surface de grille.	1530
Puissance indiquée en service courant . .	1728^{ch}

2° Machine de *Claparède* pour l'aviso *Drac*, horizontale à bielle en retour, Compound complète à deux cylindres avec réservoir. C'est la machine dont il a été parlé ci-dessus comme constituant un type et qui fait l'objet de la planche 154. Elle était montée à l'Exposition, complète, depuis les deux chaudières à deux foyers chaque jusqu'à l'hélice en bronze, y compris l'arbre de transmission garni de tous ses accessoires et la turbine à moteur spécial pour la circulation d'eau dans le vaste condenseur tubulaire, plus le *petit cheval* alimentaire ajouté aux pompes mues par la machine. Le tout eut pu fonctionner sous les yeux du public comme la machine du *Friedland* en 1867. Toutes les pièces de forge sont en acier ; douze bâtiments de l'État sont pourvus de cette machine.

Le procès-verbal de réception de l'un d'eux constate 850 chevaux de force donnée aisément avec dépense de 0^{k},93 de charbon par heure sur épreuve de huit heures, bons diagrammes relevés à l'indicateur.

Suivent les principales dimensions :

Diamètre du petit cylindre.	0^{m}92
— du grand cylindre . . . . , ...	1 50
Course commune	0 60
Nombre de tours normal	100
Diamètre de pompe à air, double effet	0 32
Surface réfrigérante du condenseur, deux chaudières à quatre foyers	160^{mq}
Surface de chauffe directe.	32
— — tubes	153
— — totale	185
Timbre de pression.	4^{atm}
Surface de grille.	8^{mq}
Diamètre d'hélice.	3^{m}60
Pas constant.	4 30

Puissance effective moyenne	700ch
Poids total de l'appareil complet, en service avec eau	132tonn

3° Machine *du Creuzot*. Triple cylindre pilon Compound, pour les transports de l'État. 1re classe, *Mytho* et *Annamite*. Les particularités principales sont :

Les pompes à air, horizontales à double effet, mues par l'arbre porte-hélice au moyen d'excentriques; disposition affectionnée par le Creuzot qui l'a adoptée dans la machine Woolf du paquebot *Saint-Laurent*, l'un des plus estimés de la Compagnie transatlantique;

La pose des condenseurs à surface sur un coffre qui les élève, avec un autre coffre intermédiaire servant ordinairement de magasin, et où l'on entre pour retirer très aisément les tubes;

L'installation d'un arbre dit de distribution sur la façade de la machine à hauteur d'appui, lequel porte tous les excentriques et est relié à l'arbre porte-hélice par engrenage. Cet arbre de distribution est une disposition usuelle dans la marine nationale.

Suivent les dimensions principales :

Cylindre, diamètre. 1. cylindre introducteur . . .	1m40
— 2. cylindres détendeurs	1 86
Course commune	1 00
Nombre de tours normal	66
Surface de chauffe	780mq
Surface condensante	558
Puissance ordinaire	2640ch
Poids, machine et accessoires	290tonn
— chaudières et accessoires	190
— total	480

4° Dessin de la machine du vaisseau le *Redoutable*, construite *au Creuzot*, type Woolf à trois paires de cylindres, bout à bout; puissance de 6,000 chevaux ; trois condenseurs à surface.

Dimensions principales :

Cylindres petits	1m38
— grands	2 16

Course commune	1 25
Nombre de tours normal	68
Surface condensante.	1280^{mq}
— de chauffe.	1822
— grille	74
Poids des huit chaudières avec 40 foyers	347^{tonn}
— des machines et accessoires	363
— total.	910

5° Dessin de la double machine pilon Compound de 8.000 chevaux du *Creuzot*, pour le vaisseau à deux hélices le *Foudroyant*. Les machines sont entièrement distinctes avec toutes leurs dépendances, dans des compartiments isolés respectivement. La disposition générale des machines est celle du *Mytho* en plus grandes proportions, comme suit :

Cylindre, diamètre, admission	1^{m}54
— détente.	1 95
Course commune	1 00
Nombre de tours normal	80
Surface condensante.	1600^{mq}
— de chauffe.	1655
— de grille.	68

6° Nous aurions à signaler ensuite les diverses petites machines de canots et un grand nombre de plans.

Parmi ceux-ci, le grand appareil des forges et chantiers (voir planche 152), où tous les organes sont mis en façade y compris les pompes, afin que le mécanicien puisse avoir tout sous ses yeux dans la machine, sans avoir à se déplacer pour faire sa tournée.

MM. *Bourdon*, *Durenne*, *Bouron* d'Argenteuil, *Oriolle* de Nantes, *Bourdon-Corpet*, *Cail*, *Nillus* et *Claparède* ont exposé diverses machines de canots, généralement très bien entendues, parmi lesquelles les trois premières ont les particularités qui suivent :

La machine *Bourdon* est du type Pilon, avec un seul cylindre, comme la machine russe ci-dessus, et tige de piston sans glissières, mais guidée par un parallélogramme, à l'imitation des classiques machines fixes de Watt.

La machine de *Durenne* est, comme la suédoise précitée, pourvue du condenseur à injection et d'un bâti dont l'intérieur sert de bâti de machines.

Enfin la machine de *Bouron* est une Compound horizontale à 6 atm. de pression, chauffée à l'huile lourde de gaz ou tout autre hydrocarbure commun.

Tous ces appareils ont des forces de 50 à 60 chevaux avec petits cylindres d'environ 25 centimètres et grands cylindres de 35 à 45 centimètres ; le nombre moyen des tours d'hélice est de 200 par minute.

L'exposition Claparède est surtout remarquable par les modèles et dessins d'une multitude de machines de tous genres parmi lesquels, il faut relater le dessin du paquebot l'*Emilie*, Compound complet, pilon avec bâti en colonnettes, ainsi que les remorqueurs à roues indépendantes et machines diagonales Compound.

La Compagnie des Chantiers a un grand nombre de dessins parmi lesquels ceux de la machine du *Tourville*, Compound horizontale à quatre cylindres, et ceux de la machine déjà relatée faisant l'objet de la planche 152, avec ses pompes en façade.

Enfin nous avons à remarquer les plans de la machine du *Yang-Tzé*, des Messageries, pilon Compound, à trois cylindres avec condenseur vertical à tubes verticaux d'une grande longueur inusitée.

Si en terminant cette revue des machines marines exposées, nous les considérons dans leur ensemble, nous ferons quelques remarques, indépendamment de celles déjà faites sur l'application à peu près générale de la haute pression et du principe Woolf ou Compound.

1° Une innovation a eu lieu récemment en France dans l'estimation de la puissance des machines marines. Au lieu de cette force nominale, qui n'était souvent pas le cinquième de la puissance réelle en chevaux classiques de 75 kilogrammètres, c'est maintenant cette puissance réelle qu'on désigne.

L'unité de puissance mécanique dite cheval-vapeur de 75 kilogrammètres est empruntée à la nature ; on sait que d'après Watt, c'est à peu près celle d'un fort cheval de trait travaillant généralement pendant une durée suffisante ; il est donc logique d'en faire la base de comparaison du travail effectif des machines, au lieu de cette puissance dite nominale qui était devenue si vague, que, par exemple, on cotait à 1,000 che-

vaux la puissance du paquebot le *Pereire*, tandis qu'on ne cotait, en Angleterre, qu'à 790 chevaux la force du *Britannic* qui est beaucoup plus grand et plus puissant du double en réalité ; d'où on a pu croire que la marine française utilisait moins bien que les Anglais la puissance motrice de ses paquebots.

C'est ainsi qu'on a vu relater à l'Exposition des machines marines de 8,000 chevaux comme celle du *Foudroyant*, qui n'eût été annoncée en 1867 que comme une machine de 1,200 chevaux.

Celle de *Claparède* n'eût été, à la même époque, présentée que pour la force de 200 chevaux nominaux, sous cette réserve que sa force réelle pouvait donner au maximum au moins le triple. Aujourd'hui elle s'appelle machine de 700 chevaux, pour lesquels elle a été calculée, et qui ont été sensiblement dépassés dans les bonnes circonstances d'un essai où on a cherché le maximum de puissance qu'on pourrait réaliser en un cas donné.

Par contre, si le rendement de travail est obtenu de la machine neuve en son meilleur état, il doit être entendu qu'avec l'appareil fatigué et encrassé, on sera loin de ce haut rendement maximum des essais de réception. A ce point de vue la puissance nominale avait sa logique. Il était entendu que, voulant avoir la force motrice capable de faire filer en tout temps au navire en état moyen ses dix nœuds, par exemple, il fallait 500 chevaux de puissance utile beaucoup dépassée, sans doute au début dans les meilleures conditions, mais du moins toujours assurés en toutes circonstances.

2° Dans la constitution des machines on n'a pas seulement élevé la pression de la vapeur, quoique bien timidement encore (puisqu'on va à dix atmosphères dans d'autres industries), on a aussi beaucoup accéléré le nombre de tours d'hélice et de coups de piston. Autrefois si les petites machines donnaient de 150 à 200 tours, les grandes de premier ordre dépassaient peu 45 à 50 tours. Aujourd'hui on va au moins à 60 tours et il n'est pas rare que les pistons aient des vitesses de 3 mètres, la course variant de 1 mètre à 1^{m},20. Pour l'étranger, nous avons ci-dessus vu la machine hollandaise donnant 90 tours.

Néanmoins on est encore bien loin de l'allègement qui devrait évidemment être une des premières conditions de la machine marine, car le tirant d'eau, le poids mort mis en mouvement au détriment du tonnage utile, la dépense de force et de combustible en dépendent. Il est

rare, surtout en France, que le poids des machines, chaudières, propulseurs et accessoires descende beaucoup au-dessous de 200 kilog. par cheval indiqué de 75 kilogrammètres.

On allège quelquefois les bâtis en remplaçant les gros montants de fonte par des colonnettes, mais les cylindres, les tables de fondation, pièces des mouvements, chaudières et accessoires sont encore d'un grand poids et d'une grande complication, qu'il faudrait s'étudier à réduire.

3° On donne aujourd'hui des puissances énormes aux machines marines. Un canot n'a pas moins d'une quarantaine de chevaux effectifs, et, dans les grands navires, c'est par milliers de chevaux qu'on compte la puissance effective, la proportion de 100 chevaux par mètre de section résistante n'est pas rare.

Nos transatlantiques français ne dépassent guère 3,000 chevaux maximum, dont on emploie environ les deux tiers en marche courante. En Angleterre la machine Compound de *la City of Berlin* avec son cylindre détenteur ayant plus de 3 mètres de diamètre, ainsi que la machine Woolf du *Britannic* en la planche 152, sont des appareils de plus de 5,000 chevaux. Le vaisseau le *Tourville* a une machine de 6,000 chevaux. Celles du *Fulminant* et du *Duperré* sont de 8,000 chevaux.

4° La vitesse de 17 nœuds à l'heure n'est plus réputée excessive, mais on sait qu'elle exige des puissances formidables, aussi la marche moyenne normale est-elle partout de 12 à 14 nœuds, et ce n'est que, soit aux essais, soit dans les cas particuliers, que la vitesse précitée de 17 à 18 nœuds est imprimée aux navires.

5° L'Exposition nous offre peu de remarques à faire dans la forme des organes des machines marines. Les groupements sont plus commodes pour la visite, mais on voit encore trop de ces pièces, vrais tours de force de forge ou de fonderie, qui font honneur peut-être au fabricant, mais qui sont d'un remplacement si dispendieux en cas d'usure ou d'avarie. Il y en a, parmi ces pièces d'un seul bloc tourmenté, qui pèsent 30 tonnes et qui ne peuvent être transportées à bord et manutentionnées qu'avec autant de frais que de difficultés. On ne saurait donc trop protester contre de pareilles tendances, qui sont contraires à la pratique industrielle.

6° Bien peu d'efforts se remarquent encore dans l'assainissement des chambres de machines et chaudières à bord des navires. Ce sont trop souvent des étuves obscures et incommodes, où les différences de niveau sont rachetées par des marches et des échelles souvent mal installées. Dans ces réduits le séjour est on ne peut plus pénible, et les mécaniciens ne peuvent donner les soins prolongés que réclament les machines. Nous pourrions prouver par de nombreux exemples, que les plus graves avaries survenues n'ont pas eu d'autre cause.

VI

CHAUDIÈRE MARINE ET CONDENSEUR.

La chaudière multitubulaire en retour de flamme et le condenseur multitubulaire dit à surface et fournissant l'eau distillée, continuent à être les appareils classiques de la navigation à vapeur.

La chaudière étant à haute pression, 4 à 5 atmosphères, on a renoncé aux formes rectangulaires, qu'on peut cependant armer à toute épreuve, comme le prouvent les foyers de locomotives; et on donne aujourd'hui aux chaudières marines cette forme cylindrique, dite autrichienne, qui fut remarquée à l'Exposition de 1867, et qui était déjà usuelle sur le Danube[1]. On la divise en corps distincts ayant au plus trois foyers chacun. Un vaisseau ou un grand paquebot a huit corps de chaudières en deux groupes, deux réchauffeurs sécheurs de vapeur et deux cheminées auxquelles on commence à donner la forme rectangulaire plus longue que large, peu élevée d'ailleurs au-dessus du pont et fort solidement construite de manière à diminuer le nombre des tirants.

Cependant des bâtiments de premier ordre n'ont qu'une cheminée cylindrique, exemple : *la Gallia* et *la City of Berlin.*

Le tirage forcé par un jet de vapeur, dit souffleur, est assez généralement employé malgré son bruit désagréable.

1. Il n'est pas sans intérêt pour l'histoire de la machine à vapeur de rappeler que dans la corvette de Cavé le *Chaptal*, construite il y a plus de trente-cinq ans, les chaudières en cuivre, timbrées à 7 atmosphères, étaient exactement de cette même forme cylindrique.

Comme particularité de détail, il faut signaler les recherches qui se font pour rendre facile le démontage et la remise en place des tubes de chaudières, et pour les fixer dans les plaques tubulaires.

L'Exposition a plusieurs systèmes qui appelleront sans doute l'attention des membres de la Société des Ingénieurs chargés d'étudier les chaudières en général. Mentionnons donc, seulement pour mémoire, les systèmes de Berendorff et de Gantelme, qui ont fait l'objet de plusieurs publications, et l'appareil Brisse à l'exposition des chemins de fer de l'Est.

Une chaudière exhibée dans la section suédoise mérite l'attention par la perfection de l'acier doux dont elle est faite; malgré un coup de feu des plus graves et des gondolements effrayants, elle a fait preuve aux essais d'une grande solidité.

Il reste à parler des condenseurs.

Le principe multitubulaire des chaudières est aussi appliqué généralement au condenseur des machines de navigation, du moins quand elles vont en eau plus ou moins salée, car l'ancien condenseur à injection reste avec les eaux pures des lacs et rivières. Le seul fait saillant à l'Exposition, relativement aux condenseurs, est la disposition verticale, et la longueur inusitée de 6 mètres donnée aux tubes du condenseur à surface du paquebot des Messageries françaises le *Yang-Tzé*.

La surface proportionnelle des condenseurs tubulaires paraît en ce moment se fixer à 0,70 de la surface de chauffe; tel est, du moins, le rapport que nous trouvons, non seulement dans les navires que l'Exposition nous laisse mesurer, mais aussi sur des machines du dehors, exemple, le cuirassé allemand *König Friedrick*.

On sait qu'on a reproché aux condenseurs à surface, d'être une cause de destruction rapide des chaudières, et de compenser ainsi l'avantage de pouvoir alimenter avec de l'eau à peu près distillée, exempte des sels qui laissent dans les chaudières de si redoutables dépôts solides; l'explication du phénomène est pour les uns l'action oxydante de l'eau distillée elle-même, et pour les autres l'acidité des huiles ayant servi au graissage des cylindres et qui sont entraînées dans le condenseur. Ce grave sujet aurait besoin d'une communication spéciale. Bornons-nous ici à relater l'appareil neutralisateur par l'eau de chaux, de MM. Hettet et Risbeck qui figure à l'exposition du ministère de la marine.

VII

INSTRUMENTS DIVERS.

Si nous avons été obligé de passer sous silence dans ce compte rendu la multitude des appareils de toutes sortes propres à la marine dont abonde l'Exposition, nous ne pouvons cependant omettre, d'une part, quelques-unes de ces machines à vapeur, accessoires qui meublent aujourd'hui, même les voiliers, et, d'autre part, certaines pièces de machines d'une grande importance au point de vue de la métallurgie en général et du service maritime.

On sait que, outre la machine motrice proprement dite, les navires ont des appareils à vapeur pour la manœuvre du cabestan, des treuils, des gouvernails, des tourelles à canon sur les bâtiments de guerre, etc.

Dans la section française, quatre constructeurs ont une exposition du plus haut intérêt en ce genre, savoir : MM. Farcot, Duclos-Stapfer, de Marseille ; Caillard frères, du Havre, et Quillacq, d'Anzin.

1° *Servo-moteur Farcot.* Sous ce titre notre ingénieux collègue de la Société, qui a une exposition si considérable en diverses classes, a créé toute une collection savamment raisonnée de machines à vapeur ou hydrauliques, pour opérer automatiquement ces manœuvres difficiles et dangereuses des grands appareils auxquels il faut appliquer un personnel plus ou moins nombreux. A l'aide du servo-moteur ou serviteur automatique, un enfant peut conduire le plus grand appareil rendu docile et ***asservi*** selon l'expression de M. Farcot lui-même.

L'idée d'appliquer une puissance mécanique à un outil rendu par là automateur n'est pas neuve, témoin les treuils et cabestans à vapeur, ainsi que les pistons à l'aide desquels est actionné le changement de marche des grandes machines marines de la Compagnie transatlantique et autres ; mais M. Farcot a élevé cette idée à la hauteur d'une théorie complète, raisonnée et applicable à toute espèce de cas. Il a publié à cet égard un volume déposé à notre dossier sous ce titre : le ***Servo-moteur*** ou ***moteur-asservi.*** Parmi les applications qu'il a faites ou qu'il propose, il en est trois appartenant à la section mari-

time de l'Exposition : un gouvernail, une mise en train et un actionnement de tourelle.

Le gouvernail à servo-moteur n'est rien autre qu'une petite machine à vapeur, actionnant le treuil où s'enroule la chaîne accoutumée de la barre du gouvernail, machine à vapeur à deux cylindres inclinés vis-à-vis, très bien disposée, que fait jouer immédiatement à sa volonté le pilote au moyen d'un simple volant, avec une telle facilité qu'un enfant pourrait seul conduire le plus grand bâtiment. Le treuil n'en a pas moins sa roue ordinaire, que manœuvrent à bras si péniblement le pilote et ses aides en cas d'avarie du servo-moteur, et comme l'appareil est généralement dans une chambre vers l'avant, d'où on ne voit pas comment est placée la barre du gouvernail, son jeu est répété par une aiguille sur un cadran dans le servo-moteur lui-même par un mécanisme des plus jolis nommé *Axiomètre.* C'est en détail sur plan ou dans une description spéciale qu'il faut étudier le gouvernail à servo-moteur, qui est un des appareils les plus heureusement disposés de la marine récente.

La mise en train à servo-moteur est un autre appareil de M. Farcot, pour démarrer, stopper ou renverser la marche de ces colossales machines motrices des grands navires, auxquelles les leviers ou volants mus à bras ne suffisent plus. Partout on fait usage d'un piston à vapeur qui meut les coulisses de distribution. Ce sont aussi des servo-moteurs, on les voit dans la grande machine du Creuzot à l'Exposition, et dans les machines de Maudslay et autres de nos transatlantiques et de la *White stare line.* Ce qui caractérise l'appareil de M. Farcot, c'est sa disposition à étudier aussi sur plan.

Le servo-moteur pour mouvoir les tourelles abritant les canons dans les bâtiments de guerre n'est plus à vapeur, mais actionné par la force hydraulique à la pression de 55 atmosphères, d'après un principe qui rappelle le système bien connu d'Armstrong, avec cette différence, cependant, que la pression ne vient pas d'un *accumulateur*, mais est donnée directement par des pompes à eau mues par une machine à vapeur. Rigoureusement parlant le servo-moteur est à vapeur, mais celle-ci a la force hydraulique pour intermédiaire.

Nous avons dit que l'accumulateur ordinaire manquait ; le grand appareil à piston qu'on voit à l'Exposition dans la machine Farcot, et qui a quelque chose de la forme classique de cet accumulateur, n'est qu'un régulateur de la pression d'eau. Tout cet ensemble représente

une puissance motrice de 150 chevaux dans l'appareil exposé, lequel est destiné à un grand vaisseau de guerre.

On a dit dans une de nos séances que les servo-moteurs de M. Farcot étaient un des événements de l'Exposition de 1878. On ne pouvait mieux caractériser ces machines, qui épargnent tant de labeur et de danger à l'équipage du navire, et qui permettent d'exécuter les plus importantes manœuvres avec une rapidité égale à la sûreté de main.

2° *Appareils de Stapfer et Duclos.* Ces constructeurs de Marseille ont partagé, paraît-il, avec M. Farcot, l'invention et tout au moins la propagation du gouvernail à servo-moteur. Celui qu'ils ont à l'Exposition et que possèdent nos paquebots transatlantiques, est un peu différent de celui de M. Farcot dans la disposition des organes, mais c'est le même principe : treuil actionné par une double machine à vapeur que le pilote meut par un simple volant, avec l'addition d'un axiomètre.

Un autre fort joli appareil de ces constructeurs spéciaux d'engins pour navires, est leur monte-escarbilles, treuil d'une disposition analogue à celle du gouvernail au moyen duquel on monte hors des chambres de chauffe, pour les jeter à la mer, les cendres, escarbilles et toute sorte de résidus, dont on ne se débarrassait que si péniblement à l'aide des bras de ces malheureux ouvriers qui, sous le nom de soutiers, sont les hommes de peine du navire.

Enfin les exposants ont un treuil à vapeur où les engrenages sont actionnés par une paire de cylindres verticaux, avec un seul levier pour stopper, mettre en jeu, renverser la marche et mouvoir le frein, le tout d'une grande simplicité.

3° *Appareils de MM. Caillard.* MM. Caillard frères, du Havre, ont pour l'usage de la marine, une grande variété d'appareils à vapeur, depuis les grues et pompes jusqu'aux treuils et cabestans de première force.

Leur principale particularité est qu'au lieu des engrenages qui ferraillent, le constructeur a fait emploi de ces tambours à rainures coniques qui s'emboîtent à volonté, et qui ont apparu à l'Exposition de 1867, sous le nom d'*engrenages à coin.*

Un des appareils de MM. Caillard est une conquête précieuse pour la

marine de pêche. On sait combien est pénible et dangereux le relevage des grands filets de pêche. Au lieu de l'équipe plus ou moins nombreuse d'hommes qui ne s'ajoute guère que dans ce but à l'équipage, MM. Caillard ont disposé un *haleur mécanique*, qui n'est autre qu'un treuil à vapeur simple et disposé pour cette destination spéciale. Il est accompagné d'une petite chaudière de locomobile et peut être utilisé pour toute sorte de manœuvre.

4° *Treuil rotatif de Quillacq*. M. de Quillacq, d'Anzin, membre de la Société des Ingénieurs, a, dans diverses classes, une exposition considérable, notamment celle des mines et des moteurs.

Dans celle de la marine dont nous avons seule à nous occuper, nous trouvons deux appareils : le dessin de la cale roulante à radouber les navires, qui est en construction à Dunkerque et qui sera l'objet d'une notice ultérieure, et un treuil à vapeur d'une simplicité radicale.

Les treuils et cabestans, si nombreux à bord d'un navire, comportent généralement des engrenages bruyants et qui cassent. On vient de voir que MM. Caillard les ont remplacés par ce qu'on nomme des engrenages à coin. M. de Quillacq a encore les roues dentées ordinaires, mais le pignon qui conduit l'unique roue du treuil a sur le même arbre une machine rotative avec un seul levier, opérant toutes les manœuvres avec une telle facilité et une telle docilité, qu'il n'est pas rare, à l'Exposition, de voir le premier visiteur qui passe le manœuvrer comme un matelot. (Voir planche 153.)

Les propriétés des machines rotatives en général n'ont pas à être ici discutées. Quelles qu'elles soient, il est du moins manifeste que la machine rotative est l'organe logique des appareils qui ont la simplicité pour première condition, et qu'on ne manque pas d'appliquer le principe rotatif chaque fois que l'occasion pratique s'en rencontre, témoin les pompes rotatives pour la circulation de l'eau dans les condenseurs à surface de la plupart des grands navires actuels.

Le treuil à vapeur rotatif de M. de Quillacq est un de ces instruments radicalement simples et d'un maniement facile, que réclament sans cesse la marine comme les chantiers. Les plans sont au dossier remis avec la présente note. La figure 3 de la planche 153 donne, en élévation latérale et en plan, le dessin du treuil dans sa constitution principale.

VIII

PIÈCES DE FORGES ET DE FONTE.

L'Exposition nous présente la série à peu près complète des organes composant la coque et la machinerie des navires. Laissant de côté les blindages et leurs accessoires qui sont d'un intérêt trop spécial, ainsi que les aciers ouvrés par coulée sans forgeage des usines de Terre-Noire dont s'est occupée la Société d'autre part, nous terminerons notre compte rendu en mentionnant l'arbre de marine et les pièces de Withworth. Ils sont en acier comprimé, quand le métal est encore liquide, pour expurger les gaz et corps étrangers produisant les soufflures si redoutées, et amenés ensuite à la forme voulue par le forgeage au moyen de la presse hydraulique.

L'Exposition de M. Withworth, toujours si fidèle à nos concours, nous montre diverses pièces dont la cassure atteste l'absence des soufflures et l'homogénéité du grain. Quand ces pièces sont ajustées, elles montrent cette perfection idéale d'exécution qui est le propre du constructeur. Deux pièces de grande dimension se rapportent spécialement à la marine : un arbre de navire à hélice, et un cylindre de machine. L'arbre, dont les dimensions vont suivre, est intéressant; d'abord parce qu'il est une des expressions les plus considérables de la méthode Withworth, laquelle embrasserait maintenant les plus grosses comme les plus petites pièces. Là où l'arbre est tourné, les surfaces sont irréprochables.

Ce qui distingue, en second lieu, l'arbre qui nous occupe, c'est qu'il est creux, évidé au centre et allégé ainsi d'un tiers environ. L'arbre creux du vaisseau l'*Inflexible* a 86 mètres de longueur totale; son poids est de 65 tonnes, l'arbre plein en fer d'un pareil navire serait d'environ 180 tonnes.

L'Iris, autre navire de l'Amirauté anglaise, a un arbre creux de 42 mètres de long qui pèse 29 tonnes 1/2, au lieu de 44 tonnes que pèserait pareille pièce en fer plein.

La notice de M. Withworth, à laquelle sont empruntées ces données

et celles qui suivent, relate cinq grands navires à hélice de l'Amirauté, qui sont pourvus d'arbres creux représentant ensemble un poids total de 164 tonneaux.

Celui de l'Exposition a les dimensions suivantes :

Longueur	10m236
Diamètre extérieur.	0 445
— intérieur.	0 289
— des collets d'accouplement	0 851
Poids de l'arbre	8,145 kil
Poids d'un arbre en fer plein pour le même service.	13,236 kil

L'année dernière deux belles machines de frégates cuirassées étaient en construction chez M. Maudslay. Elles avaient des arbres creux venant, croyons-nous, d'une autre origine que celle de Withworth.

L'application des arbres creux commencerait donc à se généraliser, et ainsi se trouve généralisé un ancien projet de feu Cavé en France. Selon ce vieux maître de la construction de machines, le centre des gros arbres forgés n'est, disait-il, jamais que d'une très faible résistance, ce que lui avaient prouvé des expériences, et il ne voulait rien moins que forer les gros arbres de marine comme on fore les canons pour les alléger, croyait-il, sans nuire sensiblement à leur solidité. Puis il voulut faire ces arbres avec un anneau ou manchon étiré sur un mandrin, mais la question de prix avec les moyens d'alors ne permit pas à Cavé la réalisation que Withworth a atteinte de nos jours, par des moyens si simples et si pratiques, avec l'acier.

L'arbre de l'Exposition a plus de 10 mètres de longueur, ce n'est probablement qu'un spécimen, prouvant que le procédé de compression à l'état liquide peut fournir les plus grandes pièces voulues; car la tendance de la marine paraît être au contraire d'éviter ces organes d'une seule pièce, dont le remplacement est difficile, et de fractionner les arbres en diverses pièces reliées à leur extrémité.

Nous avons nommé ci-dessus les arbres de *l'Inflexible* et de *l'Iris*, le premier est en 14 morceaux sur ses 86 mètres et demi de longueur, l'autre est en 7 pièces sur 42 mètres de long.

L'arbre creux de Withworth est une des belles pièces de l'Exposition. Le Creuzot, lui aussi, exhibe un arbre de marine mais plein, de même dimension, qui est un magnifique ouvrage de forge au milieu d'autres

pièces en fer, fonte ou acier, digne de notre grand établissement français. Ses dimensions sont :

Longueur 18 mètres, diamètre $0^m,425$; poids 20,250 kilog., son dressage est irréprochable et le son du métal frappé témoigne de l'homogénéité.

L'exposition de M. Withworth offre à côté de l'arbre creux un autre curieux spécimen des aciers comprimés à l'état liquide. C'est un cylindre de machine marine ayant 2 mètres de diamètre extérieur, $1^m,50$ de long et 45 millimètres d'épaisseur, il pèse 3,309 kilog. Il a été fabriqué, dit la notice de l'exposant, d'un anneau d'acier comprimé à l'état fluide et amené à ses dimensions en le forgeant à la presse. Il est entièrement tourné et alésé, et ne montre aucun défaut.

Dix bâtiments de l'Amirauté britannique sont munis de cylindres ainsi fabriqués.

En parallèle avec le cylindre de Withworth, il faut relater celui du Creuzot, qui est en fonte, à double enveloppe venue d'une seule pièce avec la boîte à tiroir, le poids est d'environ 25 tonnes, c'est une des plus belles pièces de fonderie qui se puisse voir et un échantillon de la perfection où est parvenu l'art du fondeur en France.

Presque tous nos établissements peuvent revendiquer ce mérite. La fonderie de Paris égale aujourd'hui celle de la Champagne et de la Meuse; nous avons vu chez Claparède, à Saint-Denis, chez Quillacq, à Anzin, à la sortie du moule, les pièces les plus compliquées et les plus difficiles faites au trusquin sans avoir besoin de modèles, d'une parfaite venue et presque d'une couleur artistique. Les galeries de l'Exposition nous montrent les produits de nos divers fondeurs et de nos forges, qui prouvent que le talent de bien faire s'est vulgarisé et que la marine, notamment, a donné lieu aux plus belles applications de ce talent.

Ici se termine pour nous l'étude de l'Exposition de 1878. On a vu par ce qui précède que la marine a suivi les progrès des autres industries aussi bien en France qu'à l'étranger, et qu'aucune ne méritait mieux notre intérêt.

ÉTUDE SUR LES MACHINES NOUVELLES

DE LA

FILATURE ET DU TISSAGE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

PAR M. **ÉDOUARD SIMON.**

INTRODUCTION

L'absence de figures explicatives dans les rapports des jurys limite forcément les comptes rendus officiels des expositions à l'analyse sommaire des perfectionnements mécaniques. Il nous a paru utile de décrire plus en détail les machines de la filature et du tissage présentées pour la première fois en 1878, ou suffisamment transformées pour devenir des appareils nouveaux.

Tels sont : la *peigneuse*, de M. Emile Hübner, de Paris ; la *peigneuse à laine*, système Little et Eastwood, construite par MM. Platt frères et Cie, de Oldham ; le *tambour peigneur pour déchets de soie*, de MM. Brenier et Cie, de Grenoble ; la *repasseuse-étaleuse*, de M. Masurel jeune, de Lille ; la *fileuse automatique*, de MM. S. Lawson et fils, de Leeds ; la *cannetière* et le *métier à tisser la faille*, de M. Gaspard Honegger, de Rüti ; la *mécanique-cylindre pour substituer le papier au carton sur les métiers Jacquard*, de MM. Verdol et Cie, de Paris.

Grâce à l'obligeance des inventeurs et des constructeurs, dont nous venons de citer les noms, il a été possible d'accompagner les descriptions de dessins, d'autant plus nécessaires que les dispositions signalées présentaient plus de particularités.

Nous ne prétendons pas avoir épuisé le sujet et, à côté des expo-

sants mentionnés ci-dessus, d'autres mécaniciens ont réalisé des perfectionnements fort intéressants; il suffit de rappeler les noms de MM. Dobson et Barlow, de Bolton; Pierrard-Parpaite et fils, de Reims; Célestin Martin, de Verviers; Howard et Bullough, d'Accrington; Vimont, de Vire; Robert Hall, de Bury; Hodgson, de Bradford; Hattersley et fils, de la même ville; Plantrou et Delamare-Deboutteville, de Rouen; Tulpin frères, de Rouen également; Mather et Platt, de Manchester; Emanuel Buxtorf, Poron frères, de Troyes; Tailbouis, Renevey, Touzé et Bonamy, de Saint-Just-en-Chaussée, etc., etc. Nous avons dû nous limiter pour ne pas répéter ce qui avait été dit et écrit sur le même outillage avec une autorité incontestée par Michel Alcan.

Les méthodes que notre regretté maître basait sur de nombreuses observations pratiques, font peu à peu leur chemin et il nous a été donné de constater des réglages de mieux en mieux appropriés aux matières en préparation.

Ainsi, lors des premiers traitements de la filature du coton, les vitesses ont été sensiblement réduites, les battes diminuées de nombre ou transformées, notamment par MM. Dobson et Barlow, qui, dans les ouvreuses, imitent le choc élastique du fléau à battre le blé.

L'extension du peignage justifie encore les prévisions de Michel Alcan. L'action progressive et régulatrice des peignes s'impose chaque jour, davantage et limite le rôle de la carde aux démêlages et surtout aux préparations relativement sommaires des fils destinés au feutrage, pour lesquels le parallélisme absolu des fibres constituerait un défaut.

A l'égard du filage, la lutte entre le *mule-Jenny renvideur* ou self-acting et le *continu* devient plus vive que jamais. Pendant longtemps les deux systèmes semblaient, à l'exclusion l'un de l'autre, réservés à des fibres de nature différente. Le continu, qui saisit et assemble les filaments par la torsion au fur et à mesure de l'étirage, avait été employé tout d'abord aux transformations des brins dépourvus de *crochet*, comme ceux du lin, du chanvre et de certaines laines longues, lisses et résistantes. Ces distinctions furent ensuite moins absolues; en Belgique, l'industrie drapière utilise le continu avec succès pour filer des mélanges de laines courtes et de déchets.

Il serait superflu de rappeler ici les avantages et les inconvénients des deux genres de métiers. On sait que les principales objections à

l'emploi du renvideur reposent sur l'intermittence de l'étirage, de la torsion et de l'envidage, sur la place exigée par le va-et-vient du chariot. Par contre, on sait aussi que la longueur de l'aiguillée sur le mule-Jenny aide à la régularisation du produit, que le fil envidé sans effort nécessite moins de torsion pour un *numéro* déterminé, que la trame bobinée sur la broche peut être transportée directement dans la navette du métier à tisser, que l'alternance des mouvements et le mode d'envidage se traduisent par une économie de travail moteur.

La faveur accordée au continu par l'industrie américaine résulte précisément de l'abondance des forces hydrauliques, de la cherté de la main-d'œuvre et de la moyenne peu élevée des numéros de fils utilisés aux États-Unis.

A l'origine, l'*ailette*, en exagérant les vibrations de la broche, obligeait à un ralentissement qui neutralisait partiellement les avantages de la continuité. Le remplacement de cette ailette par un anneau dit *curseur*, *trotteur* ou *voyageur* (à cause de ses évolutions autour d'une bague fixe concentrique à la broche), a permis d'atteindre successivement à des vitesses de six, sept, huit mille et même, assure-t-on, neuf et dix mille tours par minute.

Après s'être laissé devancer par les Américains, les constructeurs européens ont repris et poursuivent l'étude de la broche à anneau, pour en assurer la stabilité et la lubrification.

Dans l'industrie du tissage, les perfectionnements visent à la fois les préparations de la chaîne et de la trame, ainsi que l'automatisation des métiers, afin de réduire le personnel sans compromettre la qualité des produits. L'application de la mécanique Jacquard, dans tous les cas où de multiples effets doivent être obtenus avec un nombre restreint d'éléments, a déterminé d'ingénieuses combinaisons, toujours basées sur le système imaginé par Vaucanson et modifié par Jacquard.

Malgré une tendance générale vers l'adoption du tissage mécanique pour la fabrication des articles façonnés de grande consommation, de même que pour la production des étoffes unies, le tissage à bras fait preuve d'une vitalité, dont les causes principales méritent d'être rappelées.

Les ateliers de métiers automatiques exigent des mises de fonds considérables et obligent l'industriel à une fabrication continue, parfois incompatible avec les caprices de la mode, les changements de

saisons, les exigences variables de la consommation. Le métier à bras appartient généralement à l'ouvrier qui, ne se trouvant pas comme l'engin mécanique subordonné à des conditions invariables, peut, dans des limites assez étendues, développer ou restreindre le rendement de sa journée. Si l'on excepte les grandes villes, où la spécialisation est absolue, le tissage à bras, plus généralement disséminé dans les campagnes, permet à l'ouvrier d'utiliser aux travaux de la terre les époques de chômage et même, en temps normal, de demander directement au sol une partie importante de son alimentation. Il existe dans cette organisation mixte une élasticité qui retarde, sans l'arrêter, l'extension des tissages automatiques et atténue les effets de cette transformation manufacturière.

Les moyens mis en œuvre pour réaliser mécaniquement les produits qui, récemment encore, semblaient exclusivement réservés au tissage manuel, ne laissent aucun doute sur le triomphe définitif de la machine. Il suffit de citer les velours coupés, les tissus façonnés, les tricots à formes variables et à mailles ajourées, les rubans brochés, les mousselines brodées, etc., fabriqués sous les yeux du public, à l'Exposition de 1878, et aussi simplement, en apparence, que des toiles unies ou d'autres étoffes élémentaires.

Des chiffres statistiques officiels étant souvent difficiles à réunir, on a résumé dans le tableau synoptique, qui clot cette étude, les résultats, pour les industries textiles, des derniers recensements effectués en France, en Angleterre et aux États-Unis.

PEIGNEUSE HUBNER.

Dans la plupart des peigneuses basées sur l'invention de Josué Heilmann ou dérivées du même principe, l'alimentation est intermittente. Quelles que soient la nature et la longueur des fibres, la *préparation* se trouve sectionnée avant peignage, puis soudée, après l'épuration des filaments *en tête* et *en queue*, tantôt sur la machine même, tantôt sur les étirages qui suivent immédiatement et qui, dans le dernier cas, sont munis de *tables à étaler*.

M. Emile Hübner a réalisé la mise en pratique du peignage à alimentation continue et à grande production. La peigneuse Hübner, bre-

vetée en 1851, constituait le premier progrès dans cette voie[1], mais la structure de la machine en limitait l'usage aux filaments relativement courts des beaux cotons, aux *barbes* moyennes de la bourre de soie. La nouvelle machine, dont un spécimen était exposé dans la section Française et dont les principales dispositions ont été représentées par les figures 1, 2, 3, 4, planche 155, convient aux filaments de toutes longueurs. Les figures 1 et 2 montrent en élévation, la première, l'ensemble de la peigneuse, la seconde, les positions relatives du peigne cylindrique et de la nappe alimentaire; la figure 3 donne le plan de la machine complète, et la figure 4 indique la situation des gills, dont le rôle est analysé plus loin.

Les rubans de préparation, placés à la partie supérieure de la peigneuse sur un râtelier circulaire et mobile, sont guidés, comme on le voit (fig. 1), à travers un cercle K, percé de trous régulièrement espacés, et viennent former autour d'une cloche L, en fonte polie, le manchon ou tube d'alimentation M (fig. 1 et 2).

Extérieurement à ce manchon, des bras horizontaux et rayonnants *n*, *n*, terminés vers la nappe fibreuse par des *gills* ou aiguilles *g*, sont entraînés avec l'arbre vertical G dans le sens indiqué par les flèches, en même temps que le râtelier supérieur, le cercle K et la cloche L. Le transport circulaire des gills résulte du montage des bras *n* dans les douilles *n'*, *n'*, solidaires du cercle *m*, *m* (relié d'autre part à l'arbre G par les traverses *m'*, *m'*); l'écartement et le rapprochement des gills par rapport aux filaments, l'ascension et la descente de ces aiguilles sont déterminés par la glissière supérieure *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 4), dans laquelle s'engagent les goupilles ou ergots *o*, *o*, et par la coulisse annulaire H garnie, à la partie inférieure, de plans inversement inclinés.

Le parcours de la glissière *a*...*d* correspond au moment où, après avoir subi l'action du peigne cylindrique Z (fig. 1, 2 et 3), les filaments sont encore pressés contre la cloche L par la courroie Q, formant pince et servant à assurer la verticalité des rubaus. Les gills tirés en arrière par les goupilles *o*, *o* (fig. 4), se dégagent de *a* en *b*, s'élèvent de *b* en *c* au moyen d'un bossage ménagé dans la coulisse annulaire, puis pénètrent progressivement dans la préparation de *c* en *d*, de manière à

1. Plus de mille peigneuses de ce système (décrit dans le *Traité de la filature du coton*, par M. Alcan) fonctionnent dans les filatures de la France, de l'Alsace, de la Suisse, de l'Autriche, etc.

s'y trouver complètement engagés avant que l'action de la courroie Q ait cessé.

De *d* en *e* (fig. 1 et 4), les gills restent dans la partie la plus élevée de la coulisse pour faciliter la prise des filaments (peignés) par les *cuirs sans fin* UU de l'appareil de sortie. Le nettoyage en queue résulte du passage des brins à travers le *peigne nacteur* T. Cet organe, situé horizontalement et immédiatement au-dessous de la cloche, est excentré sur l'arbre G, afin de laisser, d'un côté, la place nécessaire au hérisson Z et de permettre, du côté opposé, la pénétration de ses propres aiguilles dans la masse fibreuse, à l'instant où les brins sont étirés comme il vient d'être dit.

De *e* en *f*, les bras porte-gills suivent une courbe descendante et amènent vers la partie inférieure de la cloche de nouveaux filaments; ceux-ci rencontrent bientôt le peigne Z et les effets précédemment indiqués se répètent sans interruption.

Les figures 1, 2 et 3 montrent que le peigne cylindrique attaque la tête de la nappe, d'abord du dehors au dedans, puis travaille en plein sur l'épaisseur de la matière alimentée et achève le peignage du dedans au dehors. Tous les filaments reçoivent ainsi l'action du hérisson qui, en tournant, est débarrassé de la *blouse* ou *blousse* par une brosse circulaire S (fig. 2); la brosse se trouve nettoyée, à son tour, par un *doffer* V avec peigne oscillant *v*.

En raison du glissement variable des diverses fibres sur la surface polie de la cloche, l'inventeur s'est réservé la faculté d'accélérer ou de ralentir la marche de la courroie Q, en changeant le pignon monté sur l'axe de la poulie R (fig. 3); R′ et R″ ne sont que des galets de tension.

Les transmissions de mouvements sont, d'ailleurs, indiquées dans les figures 1 et 3. L'arbre vertical G, dont on a vu le rôle multiple, porte, à la partie inférieure, une roue dentée à pas oblique X, engrenant avec un pignon Y, claveté sur l'arbre de commande B. Ce dernier actionne, d'un côté du bâti, par l'intermédiaire d'une courroie et de roues droites, l'appareil de sortie, sur l'autre bord et d'une façon analogue, le hérisson, la brosse de nettoyage, le doffer et le peigne oscillant.

Une disposition originale d'engrenages, pour produire l'entraînement du peigne nacteur par l'intermédiaire de l'arbre autour duquel il est excentré, a été représentée en plan dans la figure 3.

En résumé, la nouvelle machine construite par M. Emile Hübner

joint aux avantages d'une surveillance facile, d'un entretien peu coûteux, les bénéfices d'une large production et d'un peignage continu. Au lieu de présenter des successions de grosseurs et de parties amincies, que les doublages ultérieurs ne suffisent pas toujours à faire disparaître des produits obtenus sur les peigneuses à alimentation intermittente et à arrachage brusque, les fibres régulièrement échelonnées au fur et à mesure de l'épuration fournissent, avec le système Hübner, une mèche très homogène.

PEIGNEUSE LITTLE ET EASTWOOD.

La maison Platt brothers and C° Limited, de Oldham, dont les ateliers sont outillés pour construire trente-cinq mille broches de filature par semaine, exposait, parmi de nombreux types de métiers utilisés dans le travail des cotons ou des laines, un intéressant spécimen de la peigneuse Little et Eastwood. Cette machine se rattache au groupe dérivé de l'invention Heilmann; le dédoublement et les proportions des têtes d'alimentation, des séries de pinces d'arrachement, des appareils de sortie, lui assurent une production journalière de quatre-vingts kilogrammes en laines courtes ou en rubans repeignés après teinture.

Les tracés des figures 5 et 6, planche 155, ont été limités aux transmissions de mouvement et aux principaux organes afférents à une moitié de la peigneuse; il est facile de reconstituer et de compléter par la pensée les pièces symétriques de l'autre moitié.

A A′ sont les mâchoires des pinces; A est montée sur une pièce courbe A^2 fixée au disque A^3, qui reçoit un mouvement rotatif intermittent autour de l'axe B, par l'intermédiaire du cliquet C et des dents de rochet D; le nombre de ces encoches correspond à celui des paires de mâchoires A A′. Le cliquet C est actionné par le levier C^1, relié à la roue E au moyen d'un bouton de manivelle; la roue E est commandée par le pignon G, claveté sur l'arbre des poulies motrices G^1.

Chaque paire de pinces, en arrivant au-dessous de la tête H, s'arrête et demeure stationnaire jusqu'à ce que les gills aient introduit entre les mâchoires ouvertes (fig. 6) l'extrémité libre de la nappe. La came I vient alors appuyer sur les galets A^4, pour fermer la mâchoire, tandis que, sous l'action du ressort H^5, les gills H^1 se rapprochent et traversent la nappe, comme on le voit figure 5.

Par l'intermédiaire de la crémaillère L et du pignon L' (même figure), des leviers M, M', N et de la came N', la tête d'alimentation H s'écarte alors du cylindre à pinces, et les gills H', durant ce mouvement, épurent la partie de la nappe qui vient d'être saisie et arrachée. Afin de compléter le sectionnement des fibres, une sorte de *sabre* à mouvement alternatif rapide (dont le montage et l'évolution rappellent le va-et-vient des chasse-navettes dans les métiers à tisser) tranche la nappe de laine sur toute la largeur des mâchoires, aussitôt que le recul de l'appareil alimentaire lui livre passage. Cette pièce n'a pu être dessinée, faute de place.

Le sabre n'a pas seulement pour but d'assurer la séparation des fibres entre la tête H et le cylindre des pinces, il donne aux filaments une direction en rapport avec le sens du mouvement imprimé au peigne annulaire T. L'extrémité de la nappe déjà préparée par les gills se trouve ainsi projetée en avant de la partie non épurée.

Cependant, la came I serre progressivement les mâchoires ; celles-ci, continuant à tourner par intermittences, rencontrent un hérisson à dents de carde R, dont la forme concave correspond à la convexité des mâchoires [1]. Le hérisson R achève le peignage *en tête* de la fraction de nappe, que les mâchoires viennent ensuite déposer sur le peigne annulaire. Une brosse volante T^1 engage les filaments dans la denture de T, tandis que le galet A^4, suivant le plan incliné S, se rapproche du centre de la came I et permet l'ouverture partielle des mâchoires. Les mouvements de cette came sont réglés par le levier C^1 et par le bras C^2 visible en pointillé dans la figure 5. La rotation de la roue E détermine ainsi, d'une part, l'entraînement intermittent, mais toujours de même sens, du disque des mâchoires et, d'autre part, le balancement de la came, qui oscille d'une pince à la suivante, l'ouvrant et la fermant successivement. Pour empêcher le détour du disque, un cliquet d'arrêt s'engage dans l'une des dents à rochet, après chaque évolution.

Le mouvement de translation du peigne annulaire et l'extraction des fibres au moyen de rouleaux d'étirage aussi rapprochés que possible, afin d'éviter un déchet anormal pendant le peignage *en queue*, ne présentent pas de particularités. Mais il convient de remarquer que, grâce aux soins apportés à la construction, une seule ouvrière peut surveiller trois peigneuses doubles.

1. Les pinces A A', mobiles à l'intérieur du peigne T et tangentiellement au cercle qui sert de support à ce peigne, sont établies suivant une courbe concentrique.

PEIGNEUSE CIRCULAIRE POUR DÉCHETS DE SOIE.

Depuis une vingtaine d'années, de nouveaux assortiments contribuent à l'utilisation de plus en plus complète des bourres et des bourrettes. MM. Brenier et Cie, de Grenoble, prennent grandement part à ce mouvement et nous mentionnerons spécialement la peigneuse circulaire sortie de leurs ateliers.

Par la substitution à la *dressing-machine* d'un tambour horizontal à quatre peigneurs, M. Quinson, de Tenay, avait réalisé un progrès considérable, mais le serrage des presses se réglait toujours à la main.

Pendant la rotation du tambour, qui effectue de sept à dix tours par heure, suivant la nature des *barbes*, l'ouvrier devait garnir les presses, faire la *voltée*, c'est-à-dire retourner la matière, ou bien retirer la bourre peignée pour garnir les presses à nouveau et, à chaque opération, serrer et desserrer à la main sans arrêter la machine.

MM. Brenier et Cie produisent automatiquement cette double action à l'aide d'une disposition, dont le premier résultat est de ménager les forces de l'ouvrier au profit de la régularité du garnissage. En outre, la vitesse du tambour peut être accélérée et, au besoin, la conduite de la machine confiée à des femmes.

Les fig. 7 et 8, pl. 155, donnent, la première, une élévation des principaux organes vus en coupe et en bout, la seconde une section des arbres et des poulies de commande.

Comme d'ordinaire, les presses P, P,... se trouvent placées parallèlement à l'axe de la peigneuse, mais aux arcs de cercle ou segments métalliques A, A, A,... portés, de chaque côté, par cinq rayons B, B,... correspondent des leviers symétriques formés de doubles bras inégaux C, D. Ces bras, reliés par un tourillon ou galet O en saillie, sont fixés, l'un au segment voisin, l'autre à l'extrémité de traverses mobiles E, E, E,... qui servent au serrage des presses butées contre les traverses fixes F, F... Les traverses mobiles sont dédoublées et munies intérieurement de boudins en caoutchouc, pour compenser par l'élasticité de la garniture un faible excédent ou une insuffisance de matière.

D'après la disposition des leviers C D, si l'on appuie de haut en bas sur

le galet formant le centre de l'articulation, les bras tendent à venir en prolongement l'un de l'autre et déterminent progressivement un serrage énergique; si, au contraire, le galet se trouve soulevé, l'angle compris entre les deux bras de levier devient de plus en plus aigu et provoque le desserrage des presses. Cette double action, comparable à la manœuvre des ferrures mobiles des capotes de voiture, se réalise au moyen de plans inclinés symétriques, dont le tracé est figuré, pour un bord, par les trois courbes I L, M N, R S. Le serrage des presses commence au moment où les galets O rencontrent, par suite de la rotation du tambour dans le sens de la flèche, le plan incliné IL au point *a*, et il continue jusqu'au point *b*; de *b* à L le levier s'infléchit en dedans, jusqu'à ce que le galet porte sur un goujon d'arrêt V.

Afin de se prémunir contre les causes accidentelles de desserrage, l'arc de cercle MN, dit de sûreté, règne concentriquement à l'arbre moteur de M en *c* et s'ouvre seulement de *c* en N. Arrivé à la courbe RS, le galet est peu à peu soulevé de *g* en *h* pour produire, au dernier point, le desserrage maximum. Maintenu dans la même situation jusqu'en *l*, le galet quitte alors la courbe RS pour retrouver le plan de serrage.

Les figures montrent comment les constructeurs obtiennent, à l'aide d'une commande unique, les différentes vitesses nécessaires au fonctionnement de la machine.

Les poulies fixe et folle X, X', de même que les poulies T et U donnant le mouvement aux cylindres peigneurs par des courroies droites, et la poulie H actionnant indirectement le grand tambour, sont portées par l'arbre central Y, qui tourne librement à l'intérieur d'une gaine annulaire en fonte Z. Cette gaine est l'axe même du grand tambour et reçoit un mouvement ralenti par l'intermédiaire des poulies HH', des pignons et des vis 1, 2, 3, 4, 5, et de la grande roue dentée K, dont une fraction a été dessinée en plan.

Les perfectionnements dus à MM. Brenier et Cie se traduisent par un supplément de production, qui peut être évalué à 20 °/₀, par une atténuation de fatigue pour le personnel ouvrier et, comme il arrive le plus souvent en pareil cas, par un rendement supérieur en qualité.

REPASSEUSE-ÉTALEUSE MASUREL.

Après le peignage des lins sur des machines proportionnées à la longueur et à la ténacité de ces matières, les *poignées*, ou *cordons* de filasse, sont habituellement *repassées* à la main. Des ouvriers choisis ont pour mission d'achever le travail des peigneuses, et de procéder à un triage de nature à tirer le meilleur parti des qualités diverses qui souvent se rencontrent dans le même lot.

A la suite de ce classement, les poignées sont remises aux ouvrières chargées de les étendre sur les *cuirs sans fin* de l'appareil nommé, pour cette raison, *machine à étaler* ou *étaleuse*.

L'un de nos compatriotes, M. Masurel jeune, de Lille, a réduit sensiblement le coût des deux opérations en les exécutant simultanément et automatiquement sur la repasseuse-étaleuse de son invention. Le bénéfice du classement n'a pu être conservé ; mais, pour les sortes courantes, l'économie de la main-d'œuvre et la régularité du travail mécanique font plus que compenser l'avantage du triage préalable ; nous en trouvons la preuve dans l'adoption de la repasseuse-étaleuse en France, en Belgique et en Angleterre.

Cet appareil, dont les éléments ont été figurés en élévation sous le n° 1 de la planche , est constitué 156 par la réunion à angle droit de deux machines distinctes, la repasseuse proprement dite (sorte de peigneuse horizontale) et l'étaleuse déjà connue. Il suffira d'indiquer les dispositions générales et les transmissions de la première.

Le travail du personnel préposé à la surveillance de la repasseuse-étaleuse se borne au dépôt des cordons de filasse peignée dans un bac oscillant A (fig. 1), qui les transporte entre deux chaînes horizontales de presses C, C, C..., entraînées par quatre poulies hexagonales K, K′, K″, K‴.

L'oscillation du bac A est produite par le levier B, articulé à la partie inférieure en *o* et terminé à l'extrémité supérieure par une came L′. Chacun des six côtés de la poulie K porte une came semblable L qui, à la rencontre avec L′, dévie le levier B de L′ en L″, comme il a été indiqué en traits ponctués. Le bac décrit alors un arc de cercle, qui facilite le glissement du cordon entre les presses, dont le levier B s'est approché. Aussitôt que, par la rotation continue de K, la came en prise

abandonne la came L′, le contrepoids P de la chaîne R, fixée au levier B, ramène celui-ci vers l'axe de la poulie K et écarte le bac pour faciliter un nouveau chargement.

Les presses, dont une chaîne est visible en plan (fig. 3), saisissent les cordons vers le milieu de la longueur et les conduisent entre des nappes horizontales de peignes N, N′ (fig. 2 et 3). La situation oblique de ces nappes par rapport aux chaînes C, C, a pour premier résultat de fournir un développement héliçoïdal, qui maintient les poignées perpendiculairement à la direction des presses. Le second effet de cette obliquité est de déterminer une action progressive de la part des peignes, qui attaquent, d'abord, l'extrémité des brins et arrivent successivement jusqu'au cœur de la poignée, d'une façon absolument comparable au travail des repasseurs à la main.

Afin de compléter le finissage, deux petites nappes de peignes, qui n'ont pu trouver place dans les figures, mais qui, disposées parallèlement aux nappes N, N′, règnent au-dessus et seulement vers la partie la plus rapprochée de l'étaleuse, sont plus ou moins écartées de N, N′, suivant la nature et la destination de la filasse.

Lorsque les cordons, dressés et repassés comme il vient d'être dit, arrivent à proximité des poulies K″ et K‴, la distance des centres de ces poulies produit l'ouverture des presses C, C, qui laissent tomber les cordons sur des cuirs sans fin E, E, situés dans le plan horizontal de la chaîne inférieure des presses et en prolongement de la partie *l*, *l′*. Les cuirs E, situés de chaque côté des presses, entraînent la préparation vers la machine à étaler, jusqu'à la rencontre d'un plateau métallique ou *couverture* J, représentée (fig. 1) dans les deux situations extrêmes qu'elle peut occuper.

La pièce J est portée par le levier *i*, articulé avec la tringle *i′*, qui, pour chaque révolution de la poulie K‴, reçoit un triple mouvement de va-et-vient horizontal. En effet, parallèlement à la poulie K‴, le plateau ou disque M est muni, en trois points de la circonférence également distants, de boutons H, H, H; ceux-ci rencontrent successivement la came G montée sur *i′*. Le chemin parcouru horizontalement par la came est calculé pour produire le relèvement de la couverture J suivant le dessin en traits pleins. Dès que l'un des trois boutons a cessé d'agir, le retour s'effectue en vertu du porte à faux de J.

Deux râteaux F, situés dans des plans parallèles (et dont l'un, visible figure 1, est représenté suivant deux situations inverses

de la bielle F″), poussent simultanément les cordons de E en J, 1° lorsque la couverture est à l'état de repos; 2° lorsque, par la translation de la tringle i′, cette même couverture s'est complètement relevée.

En d'autres termes, la couverture J est toujours approvisionnée d'une poignée de filasse par les râteaux F, au moment où elle bascule autour de son pivot; elle sert alors de plan incliné pour faire glisser ladite poignée sur le cuir sans fin D′ de l'étaleuse, dont la figure 1 montre une amorce, tandis que la bielle F″ imprime une nouvelle oscillation aux râteaux F pour pousser le cordon suivant sur le cuir D.

La couverture J rabattue, une troisième évolution des râteaux lui apporte un cordon repassé, et l'étalage se continue de même par une succession de *mises* régulières sur l'un et l'autre cuirs D, D′ de la machine à étaler.

Cette exactitude dans l'étalage constitue l'un des grands mérites de la machine Masurel, car il est impossible d'obtenir d'un être humain, pendant une journée entière, la reproduction incessante des mêmes mouvements dans des conditions de temps et d'amplitude invariables. A part l'économie de la main-d'œuvre, l'étalage automatique assure donc l'uniformité des rubans de préparation et conséquemment des fils qui en proviennent.

FILEUSE S. LAWSON ET FILS

POUR LA PRODUCTION DU FIL DE CARET.

De nombreux essais ont été faits en vue de fabriquer économiquement le fil élémentaire des cordages, ou *fil de caret*, par des moyens autres que les procédés manuels. Plusieurs constructeurs se sont efforcés de perfectionner ce qui existait en 1867, les uns conservant la broche et son ailette dans un plan horizontal, les autres fixant le tout dans un cadre vertical. Jusqu'ici MM. S. Lawson et fils, de Leeds, paraissent avoir le plus heureusement imité le travail du fileur à la main.

Si l'on observe le cordier, on remarque que, tout en avançant et en livrant à l'émerillon, actionné par le tourne-roue, la quantité de filasse nécessaire au chemin parcouru, il régularise l'alimentation, évitant les grosseurs, allongeant les fibres et les parallélisant pour les présenter au

tors dans la direction la plus favorable, retenant le brin sous une tension appropriée à sa résistance, filant en un mot avec intelligence.

Les machines Lawson réalisent, aussi diligemment que le peuvent faire des engins automatiques, les conditions de cette manutention.

Une étaleuse transforme la filasse en ruban; la préparation reçoit ensuite deux passages d'étirage avant d'être livrée à la fileuse proprement dite; les dispositions originales de la dernière machine nous ont engagé à en donner une description détaillée.

Cette fileuse est caractérisée : 1° par la mobilité et la forme de l'organe dit *condenseur*, à travers lequel la filasse se lamine et s'étire et qui, suivant le volume du ruban de préparation, accélère spontanément, ralentit ou même arrête complètement la marche de l'appareil alimentaire; 2° par le réglage de l'envidage sur la bobine; 3° par la construction de la poulie motrice permettant l'emploi d'une courroie unique pour deux fileuses indépendantes; 4° par le débrayage automatique de chaque broche, en cas de rupture du fil.

Nous examinerons dans l'ordre ci-dessus, les diverses particularités de la machine, dont une moitié (l'autre étant entièrement semblable) a été représentée en élévation, pl. 157, fig. 1.

Le ruban de préparation, tendu au moyen de rouleaux r, r', r'', est conduit par une chaîne sans fin horizontale B, garnie d'aiguilles ou *gills*. A la suite de cette chaîne se voit le condenseur C, dont le fonctionnement sera expliqué plus loin; la préparation étirée, puis tordue à travers le tube C'', passe entre des tendeurs k, k', avant de se rendre sur la bobine L. La partie des bâtis située au delà, porte la commande principale ainsi que les organes d'envidage et les débrayages.

1° *Appareil alimentaire et condenseur*. — Les rouleaux r, r', qui servent en même temps à approvisionner la toile sans fin de filasse et à donner à la préparation un certain étirage, sont solidaires de cette toile B par l'intermédiaire d'une corde ronde en cuir. La chaîne des gills est mise en mouvement par la poulie D, commandée au moyen de la courroie b par la poulie E, fixée sur l'arbre c^5. Le mouvement de la poulie E est variable et transmis par un ensemble de roues dentées et de pignons, représentés en coupe (fig. 3). La poulie a et le pignon e sont clavetés sur l'arbre X; le pignon e engrène avec la roue dentée g, qui, de son côté, est fixée sur l'arbre c^5 de la poulie E.

La poulie b fait corps avec le manchon L', sur lequel se trouve le

pignon *d* (plus petit que *e*) et engrenant avec la roue dentée *f*. Cette dernière actionne l'arbre c^5 et la poulie E par l'intermédiaire de la couronne dentée *h* et du prisonnier *i* vissé dans un renflement de la roue *g*.

A la vitesse accélérée, la roue *g* entraîne la roue *f*; il ne se produit donc pas d'arrêt brusque, lorsque la corde-courroie *j* passe de l'une des poulies *a* ou *b* sur l'autre.

La poulie *c* est folle sur le manchon L'.

D'après ce qui précède, suivant que la corde-courroie *j* est conduite sur la poulie *a* ou sur la poulie *b*, la vitesse des gills est accélérée ou ralentie ; si la courroie est entraînée sur la poulie *c*, la chaîne s'arrête et l'alimentation cesse complètement.

Les déplacements de la courroie résultent de la résistance opposée par le condenseur au passage de la préparation, cette résistance s'accentuant avec l'augmentation de volume du ruban alimentaire.

Les figures 1, 2, 4, 5, 6 et 7 montrent le mode d'action et la forme du condenseur C. Le levier vertical U, qui a été sectionné en deux parties pour faciliter l'insertion du condenseur, peut osciller autour d'un point d'articulation situé à la partie inférieure, et se rapprocher ainsi ou s'éloigner des gills dans les limites fixées par des butoirs visibles, figure 1.

Le levier U est tiré vers la chaîne alimentaire par un ressort *m* (même figure), tandis que la préparation engagée dans le condenseur agit en sens opposé. Aussi longtemps que l'effort exercé par les fibres est régulier et normal, le levier U reste légèrement incliné en avant; mais dès que la résistance diminue faute d'alimentation, le ressort *m* entraîne la pièce U vers les gills et, par l'intermédiaire du guide-courroie W relié par une tige *n* au même levier U (fig. 1 et 2), transporte la courroie *j* de la poulie *b* sur la poulie *a*; le mouvement de la chaîne B se trouvant accéléré, l'apport de la filasse augmente proportionnellement.

Si, au contraire, la résistance est accrue par un excédent de fibres, le levier U est repoussé en avant, dépasse sa situation normale et transporte, au moyen du guide-courroie, la corde *j* de la poulie *b* sur la poulie folle *c*, jusqu'à ce que le volume de la masse fibreuse ait subi une réduction suffisante. Alors se produit à nouveau l'effet du ressort *m* et la courroie-corde *j* retourne sur la poulie *b*.

L'action régulatrice de l'appareil se trouve complétée par la structure interne du condenseur. Comme on le voit (fig. 4), cet organe se com-

pose d'une pièce perforée dans toute l'épaisseur, creusée du côté de l'alimentation sous forme d'entonnoir et évidée circulairement dans la partie médiane pour donner place à une sorte d'obturateur ou de clef *o*. L'entrée conique facilite l'introduction des fibres. La clef *o* tourne librement; elle est montée sur un axe terminé, d'un bout, par la manivelle o^1, qui permet de faire varier à volonté la situation angulaire de la clef; de l'autre bout, un levier o^2 (fig. 2, 6 et 7) produit automatiquement des effets analogues. La pièce *o* est creusée à la circonférence suivant le tracé des figures 4 et 5, c'est-à-dire que le canal ménagé perpendiculairement à l'axe de la clef va s'approfondissant jusqu'à la rencontre d'un bloc d'acier o^3, ajusté dans l'épaisseur de cette même clef; le canal se continue à travers le bloc o^3, mais en se relevant assez brusquement pour former un épaulement arrondi, dont le but va être indiqué. Enfin, au-dessus de la clef, la gorge du condenseur se trouve complétée par une plaque d'acier o^4. La compression des fibres a lieu entre cette plaque et le bloc o^3.

Pour régler le laminage de la préparation, deux ressorts o^5, o^6 (fig. 6 et 7) se font équilibre sur le levier o^2, solidaire de la clef *o*. Le ressort o^5 est logé dans un tube métallique, qui constitue la partie supérieure du levier U; le ressort o^6 est retenu, vers le bas, par un crochet fixé au prolongement inférieur du même levier. La tension inverse des deux ressorts est calculée pour maintenir la clef suivant la situation normale de la figure 4. Dans ce cas, une ligne verticale menée par l'axe de la clef coupe la partie la plus profonde de l'entaille réservée au passage de la préparation; le point où s'effectue la prise des filaments est limité par la ligne 1, 2, parallèle à la première et correspondant à une alimentation moyenne.

Tant que cette moyenne subsiste, l'étirage du ruban ne donne lieu à aucun mouvement axial, mais dès que l'effort exercé par la filasse excède la résistance des ressorts compensateurs o^5, o^6 (ce qui a lieu pour un supplément anormal d'alimentation), la clef tourne dans le sens de la flèche (fig. 4) et le passage à travers la gorge du condenseur se trouve immédiatement élargi. Cette rotation automatique, produite en même temps que la déviation du levier U et que le déplacement de la courroie *j*, évite l'engorgement du condenseur et la rupture des fibres. Ici apparaît le but du bloc d'acier o^3, qui, en raison de sa forme, fournit à la préparation un levier favorable au déplacement rapide de l'obturateur *o*. Lorsque l'excédent d'alimentation a cessé par le ralentissement ou

l'arrêt des gills, la clef *o* retourne à sa position initiale en même temps que le levier U reprend l'inclinaison normale.

Si, contrairement au cas envisagé, il y avait eu insuffisance d'alimentation, les effets inverses se seraient produits. A l'accélération des gills, la rotation de l'obturateur *o* dans la direction opposée au sens de la flèche aurait ajouté le rétrécissement momentané du canal pour accumuler dans la gorge du condenseur un volume normal de filasse.

Quelle que soit, d'ailleurs, la situation de l'obturateur ou clef *o* à l'intérieur du condenseur, la forme sectionnelle du conduit a pour résultat d'uniformiser la pression exercée à la surface de la préparation, de lisser, par conséquent, les filaments et d'arrondir le fil au fur et à mesure que la torsion lui est imprimée.

2° *Broche et ailette : Envidage.* — Au sortir du condenseur, la préparation traverse comme il a été dit un tube C″, placé en prolongement de C et animé d'un mouvement de rotation rapide par l'intermédiaire de la poulie D′, qui est elle-même mise en relation avec la poulie E′ de l'arbre de commande *l*′, au moyen d'une courroie (fig. 1).

Du tube C″, la mèche passe alternativement sur les gorges multiples des rouleaux tendeurs *k*, *k*′, qui tournent sur des prisonniers portés par le cadre de l'ailette (fig. 8). Ces deux tendeurs, commandés par un même pignon intermédiaire, calé à l'extrémité antérieure du tube, transfèrent le fil à l'ailette par des galets de renvoi représentés figures 1 et 8. Les rapports des vitesses entre l'ailette, les tendeurs et le tube sont établis pour fournir à la mèche la traction et la torsion nécessaires.

L'ailette F, dont les détails sont visibles en coupe (fig. 8), est commandée par la poulie F^1, au moyen de la courroie *s* et de la poulie F^2 fixée par la douille *d*′ à une extrémité de l'ailette. Cette douille se meut à l'intérieur d'un support fixe *d*″ et autour d'une gaine cylindrique *f*′ ; la gaine *f*′, que traverse de part en part la broche G, se trouve reliée, d'un bout, par un ergot à la bobine L ; elle est, de plus, enserrée sur partie de sa longueur par le manchon *g*′ (de la poulie F^3), qui tourne dans un support spécial *h*′. La poulie F^3 participe ainsi à la rotation de la bobine L ; celle-ci, toutefois, ne reçoit pas seulement de l'ailette un mouvement circulaire, elle va et vient horizontalement sur la broche G, par l'effet d'un double pas de vis contrarié H (fig. 1) et d'un support à douille H′, monté sur l'axe creux *f*′.

Disons tout de suite que la vis H porte à l'extrémité située hors du bâti une roue dentée conique *e* engrenant avec un pignon d'angle *e'*; que le dernier est fixé à la partie supérieure d'un arbre oblique *m'*, recevant vers le bas la commande d'une roue héliçoïdale *e'''* par l'intermédiaire de la vis sans fin *e''*.

D'autre part, la poulie F^3 actionne au moyen d'une courroie la poulie folle F^4 (de diamètre moindre que F^1). Cette poulie folle est placée sur le même arbre *l'* que la poulie F^1 et à une petite distance de la face externe de celle-ci; susceptible de glisser librement en même temps que de tourner sur *l'*, F^4 est une poulie de friction, dont la face interne peut s'appliquer contre un plateau I, également fou et interposé entre les poulies F^1 et F^4, comme on le voit en coupe (fig. 8).

L'adhérence entre la poulie F^4 et le plateau I est réglée au moyen du poids *q* et de la vis *q'* que porte le levier J (fig. 1). Ce levier, dont le point d'appui se voit en *s'*, est contrecoudé et relié par une tige *t* avec un levier K'', muni de deux tiges *u u*, qui butent contre le moyeu de la poulie de friction F^4.

Sur la face externe du plateau I et entre deux boutons a^2, a^3, peu distants l'un de l'autre (fig. 8 *ter*), pénètre le bouton c^2 venu de fonte sur le petit plateau b^2, solidaire de la poulie F^1 (fig. 8 *ter* et 9); il existe toutefois un certain temps perdu avant que le bouton c^2 vienne au contact de a^2 ou de a^3, selon que c^2 avance ou retarde sur le plateau I.

La poulie F^4, tournant, en raison de son diamètre, plus rapidement que la poulie F^1, tend à imprimer sa propre vitesse au même plateau I, elle en est empêchée par le bouton c^2 du plateau b^2 faisant corps, comme il a été vu, avec la poulie F^1; c^2, engagé entre a^2 et a^3, retient I et produit ainsi sur la poulie F^4 une résistance qui détermine le serrage des couches de fil envidées sur la bobine L.

Pour proportionner le serrage au diamètre de la bobine, la position du poids *q* sur la vis *q'* doit varier d'une façon constante et automatique. A cet effet, l'arbre oblique *m'* porte un excentrique d^3 relié à une tige c^3, qui actionne le mouvement de sonnette f^3. Chaque tour de l'arbre *m'* fait basculer l'équerre f^3 et osciller le cliquet g^3, qui commande le rochet h^3 de la vis *q'*; celle-ci, en tournant, détermine la translation du poids *q* et son action progressive sur le levier J.

3° *Commande générale de la machine* et 4° *débrayage automatique*. — Dans les figures 10, 11 et 12, se voit la disposition adoptée pour

substituer aux doubles poulies, nécessitant autant de courroies que dé broches, une poulie unique, qui conserve l'indépendance des organes fileurs.

La figure 10 montre la tête du métier en plan avec la poulie de commande sectionnée horizontalement suivant l'axe. Cette poulie A reçoit un mouvement continu de la courroie A′ (fig. 1); elle est folle sur l'arbre transversal et fixe B^2, situé dans le même plan que les arbres l, l', et porte sur les faces opposées deux ressorts annulaires D^2, D^2, qui peuvent être bandés ou détendus indépendamment l'un de l'autre. Chacun de ces ressorts consiste en un cercle fendu (fig. 11), ajusté dans la périphérie intérieure de la poulie et muni d'une paire de pinces E^2 E^2, qui permettent d'ouvrir ou de resserrer le cercle. Dans ce but, chaque paire de pinces se termine, du côté opposé à l'articulation, par des talons de forme appropriée aux dimensions des coins f^4.

Anneaux et pinces sont abrités par des plateaux D^3, D^3 (fig. 10) d'un diamètre moindre que celui de la poulie A et venus de fonte avec des gaines D^4, D^4, sur lesquelles sont clavetées les roues d'angle D^5, D^5; celles-ci engrènent avec les pignons c^4 des arbres l, l'.

La douille ou gaine de chaque disque D^3 porte, en outre, un manchon F^4 (voir le détail fig. 12), qui peut glisser parallèlement à l'arbre B^2 et, en s'avançant vers la poulie A, engager le coin ou goupille f^4; la pénétration de f^4 entre les pinces E^2 produit l'expansion du ressort annulaire correspondant, comme il a été indiqué dans la fig. 11. Ce ressort adhère ainsi à la poulie A, qui l'entraîne dans son mouvement et actionne la section de machine à laquelle il appartient.

Lorsque le coin est tiré en arrière par suite du glissement du manchon F^4 en sens inverse, le ressort se contracte et tout effet cesse de la part de la poulie A.

La figure 10 laisse voir l'un des coins f^4 engagé à fond, l'autre dégagé et conséquemment le ressort D^2, correspondant au premier coin, bandé contre la face interne de la poulie A, tandis que le ressort voisin reste écarté de la même poulie.

Le *débrayage* de chaque broche peut s'effectuer à la main comme l'embrayage, ou bien automatiquement lorsque le fil est rompu.

En R′ et R″ (fig. 1, 13 et 14) ont été dessinées deux poignées, placées aux extrémités opposées du bâti pour faciliter la manœuvre de l'embrayage. Ces poignées produisent l'entraînement du manchon F^4 par l'intermédiaire de la tringle horizontale S et des leviers 1, 2, 3.

Afin d'empêcher que, sans cause accidentelle, les poignées R'R'' retombent en vertu de leur poids et déterminent l'arrêt, la douille de la pièce R'' est munie d'un levier 4 (fig. 14), retenu, en marche normale, par la clenche 5. Celle-ci ne peut se relever pour dégager le débrayage que si le ressort 6, chargé de maintenir l'enclenchement, cède à une traction exercée sur la poignée *p* ou à une poussée du levier 4 contre le talon de la clenche 5.

Le dernier effet, en cas de rupture du fil, résulte du dispositif décrit ci-après.

Au dos du plateau de friction I (fig. 8 *bis*, 8 *ter* et 9) est fixé un doigt ou crochet P', dont l'extrémité recourbée pénètre dans un trou n^2 du plateau b^2 et dont l'axe, ou pivot, porte un petit bras o^3 s'engageant dans un autre trou r^2 du même plateau b^2.

Aussi longtemps que le fil reste tendu, le nez du crochet P' demeure à l'entrée du trou n^2, mais dès que le fil se rompt, le mouvement de la poulie folle F^4 se trouvant ralenti et bientôt arrêté, le bouton c^2 du plateau b^2, toujours situé entre a^2 et a^3, prend de l'avance; ce mouvement accéléré de b^2 fait pousser le bras o^3 du crochet P' par le bord postérieur de la niche r^2, de manière à faire pénétrer le crochet P' plus avant à travers n^2. La rotation du plateau b^2 continuant, le nez de P' rencontre bientôt la partie inférieure du levier 7 fixé sur la tige S (fig. 1 et 14). La tige S pivote sur elle-même et dégage le manchon F^4 par l'intermédiaire des leviers 1, 2, 3, comme il a été expliqué plus haut pour le débrayage à la main.

L'étude approfondie des détails, la distribution méthodique des mécanismes afférents à chaque élément du filage, assurent une marche régulière et une production relativement considérable à la machine de MM. Lawson. Chaque broche fournit, en moyenne, 50 kilogrammes de fil de caret, par journée de dix heures.

CANNETIÈRE GASPARD HONEGGER.

Les cannetières se distinguent en machines *à dérouler* et en machines *à défiler*. Sur les premières, la cannette est cylindrique et le fil s'enroule perpendiculairement à la génératrice du cylindre; sur les secondes, le tube d'envidage est conique et le fil (toujours guidé perpendiculairement à l'axe de rotation) forme avec la génératrice du cône

un angle plus ou moins ouvert qui détermine, en même temps que l'enveloppement oblique de la cannette, le contournement du fil sur lui-même.

Les cannettes de l'un et de l'autre système sont placées longitudinalement dans la navette; mais, avec la cannette cylindrique, le fil doit être tiré perpendiculairement à l'axe de la navette pour que la duite se *déroule* comme le câble d'un treuil. Avec la cannette à défiler, la duite est tirée en bout et les vrilles produites pendant le tramage persistent sur le fil aux dépens de la tissure.

Aussi, dans la fabrication des belles soieries unies et particulièrement des étoffes à duite doublée, où le parallélisme des trames est indispensable, la cannette à dérouler, malgré la complication des renvois de tension, est-elle employée de préférence. D'un autre côté, en raison de sa forme, la cannette à défiler permet d'emmagasiner dans la chambre de la navette une plus grande quantité de trame.

M. Gaspard Honegger, de Rüti, s'est efforcé de réunir dans la construction de sa nouvelle cannetière à défiler les avantages des deux types connus. La broche de la trameuse suisse a un rôle passif; elle s'élève et s'abaisse alternativement pour régler l'amplitude de la croisure, mais elle ne tourne pas. Une pièce annulaire et mobile autour de la broche dirige le fil sur la cannette sans lui imprimer de torsion supplémentaire. Cet organe agit comme la main de l'enfant enroulant une ficelle sur une toupie. Les spires de l'hélice formée dans ces conditions se développent et s'annulent au fur et à mesure du duitage.

Les figures 4, 5, 6 de la planche 156 représentent les parties essentielles de la cannetière G. Honegger. La figure 5 est une élévation de la broche complète, la figure 4 montre les mêmes pièces en coupe, la figure 6 donne, en plan, certains détails de la gaine mobile et du débrayage.

A est le bâti principal sur lequel s'appliquent les supports-coussinets BB de la broche ou fuseau central C. Les déplacements verticaux de ce fuseau résultent du mouvement de bascule du bras de levier D autour de l'axe E.

Par l'intermédiaire d'une courroie sans fin, l'arbre moteur de la cannetière fait tourner sans discontinuité le galet G, qui pivote dans la crapaudine H. La solidarité entre ce galet et la gaine annulaire K s'obtient au moyen d'un double manchon d'embrayage I et J. La partie I, constamment en prise avec la pièce J, se dégage du galet G et produit

ainsi l'arrêt de la gaine K, lorsque le débrayage ou détente P agit comme il va être indiqué.

La gaine K porte une sorte de chapeau tubulaire en bronze M, à base conique, qui s'applique exactement sur la cannette et la moule en quelque sorte, au fur et à mesure de l'envidage. Ce chapeau, dont le guide-fil *g* (fig. 6) se loge dans un évidement latéral de la gaine laissant voir la cannette (fig. 5), est maintenu à l'intérieur de K par la pression du crochet à ressort N. Monté sur un pivot *r*, fixé à la paroi externe de la gaine (fig. 4 et 5), le crochet N peut, en effet, pénétrer par la lumière *m* à travers cette paroi.

Lorsque le chapeau M, soulevé par les couches successives de la cannette, est arrivé à l'extrémité supérieure de sa course, il dépasse l'orifice *m*; le crochet N, ne trouvant plus de résistance, cède à l'impulsion de la lame élastique *p* et pénètre plus avant dans la gaine. Dans ce mouvement de bascule, le talon inférieur du crochet excède sensiblement sa situation normale, à la périphérie de K, et vient buter contre l'extrémité du levier de débrayage P. Par suite, la détente P, légèrement déviée, déclenche le levier U qui, sous l'effort du ressort S, relève instantanément le manchon I et le soustrait à l'action du galet G.

Pour produire l'embrayage, il suffit d'appuyer sur le bouton R de la tringle T, articulée avec le levier U, jusqu'à ce que le cran d'arrêt de la détente P puisse passer au-dessus de ce levier et neutraliser l'effet du ressort S.

La précision et l'élégance, dont témoigne cette cannetière, se retrouvent dans le métier mécanique à tisser la faille sorti également de l'atelier G. Honegger.

MÉTIER GASPARD HONEGGER POUR TISSER LA FAILLE.

La particularité de cette machine réside dans le mode de translation de la trame. La navette n'est point chassée d'un bord à l'autre du métier en glissant ou en roulant sur les fils longitudinaux de l'étoffe, elle est portée de droite à gauche ou de gauche à droite du battant par des pinces articulées, de façon à éviter tout froissement, toute usure de la chaîne. La figure 7 de la planche 156 montre, à l'exclusion des autres organes du métier, ces mains automatiques et les transmissions de mouvement qui les font agir.

Les porte-navettes ou pinces symétriques A, A′, se composent de cadres en fer à cheval, posés de champ et fixés, l'un sur le chariot B, l'autre sur le chariot B′; ces cadres se terminent, à la partie supérieure, du côté du rouleau X, qui porte l'étoffe, par des pointes à nervure arrondie *a*, *a′*, sur lesquelles s'engage la navette O de construction spéciale (voir le tracé de O en plan). Des doigts articulés *d*, *d′* pressent sur la navette et la maintiennent à tour de rôle, aussi longtemps que l'action des ressorts *e*, *e′* ne se trouve pas neutralisée.

La distance à parcourir par les chariots B B′ comprend : 1° la largeur du battant, 2° la longueur de la navette, 3° un chemin perdu d'environ 10 centimètres, pour laisser au battant le temps de serrer la duite. L'évolution des deux chariots, qui se rapprochent et s'éloignent simultanément, résulte des déplacements des bielles symétriques C C′, D D′, EE′; les deux dernières sont actionnées par la pièce F. Celle-ci, par l'effet de la bielle G, montée sur l'arbre moteur H, décrit une succession d'oscillations d'amplitude quelque peu supérieure au quart de cercle.

Les points d'articulation des biélles E E′ sont déterminés de façon à ralentir le mouvement, à diminuer la course vers les points morts extérieurs et, par contre, à accélérer la vitesse, à fournir un développement plus considérable vers les points morts intérieurs. Le but est de limiter la course des chariots au strict nécessaire, tout en réservant le temps utile au coup de battant.

Pendant que les chariots B B′ vont et viennent, l'arbre I, tournant moitié moins vite que l'arbre principal H, commande par l'intermédiaire de l'excentrique J, du galet *g* et de la bielle K, une pièce oscillante L dénommée, en raison de son rôle et de sa disposition, *balance d'échange*.

Selon que la balance L s'élève à droite ou à gauche, le levier *m′* (solidaire de la partie mobile du porte-navette *d′*) se trouve soulevé en arrivant vers le centre du métier par le plan incliné *f′*, ou bien le levier *m*, relié de même à *d*, remonte le plan *f* de ladite balance et fait ouvrir la pince correspondante. La pince fermée, dont le ressort reste tendu, maintient la navette et l'entraîne hors du tissu.

Des encoches ménagées en dessus de cette navette permettent aux doigts *d*, *d′* d'en régulariser la situation. Si, au moment de l'échange, la navette avance un peu trop d'un côté, la pince de l'autre bord la

repousse et la lame élastique de la pince fermée rencontre toujours une encoche ou cran d'arrêt.

Les diverses parties des porte-navettes ont été établies de manière à éviter la prise des fils levés, soit entre les pinces et la navette, soit entre les cadres fixes et les lames mobiles; la navette, fabriquée d'une seule pièce et avec une grande exactitude, traverse la chaîne sans chocs et sans secousses.

MÉCANIQUE-CYLINDRE VERDOL ET Cie

POUR LA SUBSTITUTION DU PAPIER AU CARTON SUR LES MÉTIERS JACQUARD.

La fabrication des étoffes de luxe faisait valoir, en 1878 aussi bien que dans les expositions précédentes, les qualités traditionnelles des dessinateurs, des monteurs et des tisserands à la main formés en France. Toutefois, là comme dans les autres spécialités, la concurrence n'autorise pas à négliger les moyens de production économiques et, à cet égard, la possibilité de substituer le papier au carton sur les mécaniques Jacquard préoccupe justement nos industriels. Les premiers essais remontent à plus de vingt ans. Dès le début, le grand obstacle à l'usage du papier consistait dans la détérioration rapide de la feuille directement exposée au choc des *aiguilles*, qui ont pour mission d'empêcher ou de déterminer le soulèvement des crochets Jacquard.

Avec le système Acklin, modifié par MM. Verdol et Cie, l'inconvénient a disparu; le papier ne sert plus à refouler les aiguilles mêmes de la Jacquard, mais il agit d'une façon analogue sur des tiges beaucoup plus légères qui, suivant leur situation verticale, mettent hors de prise ou, au contraire, placent devant un cadre métallique des tringles intermédiaires formant butée contre les aiguilles ordinaires.

Une rangée de douze de ces aiguilles superposées *e*, *e*, *e*, et les butoirs correspondants, dont il vient d'être question, sont dessinés dans la figure 8, planche 156; les principales pièces de la nouvelle mécanique-cylindre s'y trouvent également indiquées et sont reproduites avec plus de détails dans les figures 10, 11 et 12. P (fig. 8) est la planchette qui, dans les autres mécaniques, limite l'effet du carton, au moment où le prisme vient *plaquer*, après chaque quart de tour.

Ici, la feuille de papier *f*, *g*, entraînée par les repères *r*, *r*, *r*, du disque O, se déroule sur une plaque de cuivre *cc*, percée de trous vis-à-vis des petites aiguilles *e'*, *e'*, *e'*, *e'*, de l'appareil additionnel; la largeur *dd'* est égale à la division d'un carton (voir, fig. 9, la grandeur d'exécution de cette division).

Selon que le papier est plein ou percé, les aiguilles *e'*, *e'*, sont repoussées ou pénètrent librement à travers la plaque *cc*. Dans la première hypothèse, on le voit pour les aiguilles numérotées 1, 2, 3 à l'intérieur de la boîte ou étui B, les butoirs *b* 1, *b* 2, *b* 3, soulevés horizontalement, s'interposent entre le *train de barres* ou presse mobile AA (constituant un véritable carton métallique) et les aiguilles *e*, *e*, *e*, qu'ils refoulent sous l'impulsion de ladite presse.

Les aiguilles *e'* 7, *e'* 8, *e'* 9, engagées, au contraire, dans les vides de la plaque, n'exercent aucune action; les barres de la presse situées au-dessous des butoirs *b* 7, *b* 8, *b* 9, glissent avec le cadre A, A, sans produire la déviation des crochets.

Au moment où la presse recule, les aiguilles *e*, *e*, *e*, *e*, munies comme de coutume de ressorts élastiques, repoussent les butoirs à travers la plaque fixe D, D. Mais, pour mieux assurer cette réaction, une seconde plaque L L, dite de rappel et mobile avec le cadre A A, agit dans le même sens que les ressorts contre les rondelles *m*, *m*, *m*, *m*..., et ramène les butoirs au point de départ.

On a considéré seulement les butoirs 1, 2, 3 et 7, 8, 9, il va de soi que les observations précédentes s'appliquent aux autres butoirs 4, 5, 6, d'une part, et 10, 11, 12, de l'autre, les trois premiers en prise et les trois derniers hors de prise dans l'exemple choisi. La division très réduite, dont la figure 9 indique les intervalles exacts, résulte du faible échantillon des tiges qui constituent les aiguilles des butoirs.

Les avantages du système portent donc à la fois sur la nature de la matière première et sur les dimensions des feuilles; le papier est employé sous forme de rouleaux continus ou de chaînes sans fin, articulées comme les chaînes de cartons épais au moyen de petites équerres métalliques, fixées à intervalles réguliers sur les rives.

Pour donner plus de soutien aux mêmes feuilles, MM. Verdol et C[ie] appliquent sur les bords et au centre trois bandes étroites et parallèles de papier fort, dans lesquelles sont ménagés les trous de repère. Cette préparation s'effectue en une fois à l'aide d'une petite machine munie

de trois augets à colle et de trois groupes de molettes, qui gomment et laminent les bandes de doublage.

Il fallait tenir compte des propriétés hygrométriques du papier et se prémunir contre les effets de retrait ou d'élargissement impossibles à éviter, lorsque les conditions atmosphériques subissent des variations sensibles. Les constructeurs ont, pour ce motif, adopté la disposition de la figure 11. Les disques extrêmes d'entraînement O, O', au lieu d'être fixés sur l'axe de *la lanterne* dans une position immuable, sont montés sur des goujons d, d', k, k', garnis de ressorts, et peuvent se rapprocher ou s'écarter de quantités variables, au moyen des écrous T, T'. De la sorte, la concordance entre les repères du cylindre et les trous du papier est toujours facilement assurée.

Enfin, les figures 10 et 12 représentent les faces externes des deux cercles, dont l'accouplement constitue la lanterne E, disposée pour utiliser, les uns après les autres, aux extrémités de chaque carton, ou du moins de chaque largeur de papier représentant un carton, trois trous de repères consécutifs. Lorsque les premiers sont usés, le tisseur emploie les seconds; lorsque les derniers sont devenus trop libres, les troisièmes remplacent les précédents, de manière à prolonger la durée du papier.

Cette substitution s'obtient sans modifier la situation de la feuille relativement à la plaque *cc*. La lanterne E, commandée comme de coutume par un cliquet à mouvement alternatif, n'est pas directement calée sur l'arbre S, mais vissée sur une fraction de cercle R, faisant corps avec le même arbre. Cette pièce est percée de six trous v, v', v'' et u, u', u'' de même calibre et espacés, haut et bas, proportionnellement à l'écartement des trous de repère. Suivant que les vis servant à fixer la lanterne, sont engagées en v, u, en v'', u'' ou en v', u', les repères des disques s'engagent dans les trous extrêmes d'avant, d'arrière ou intermédiaires de chaque largeur de papier[1].

1. PRIX DES

Mille cartons ordinaires bruts et lacés.			Mille cartons-papier repérés.	
Nombre de crochets.	Qualité inférieure.	Qualité supérieure.	A simple bande.	A double bande.
400	13^{f},80	18^{f},00	2^{f},10	2^{f},80
600	17 ,80	24 ,10	3 ,15	4 ,20
800	20 ,90	28 ,30	4 ,20	5 ,25
900	25 ,00	32 ,80	5 ,25	6 ,30
1000	27 ,00	37 ,00	5 ,25	6 ,30

Des inventions visées dans ce travail ressortent de grands efforts en vue de développer dans toutes les directions la puissance mécanique des industries textiles, le tableau ci-après dénombre, pour notre pays, les principaux éléments de cette puissance et en établit le rapport avec les éléments similaires de la Grande-Bretagne et des États-Unis.

INDUSTRIES DE LA FILATURE ET DU TISSAGE.

Outillage de la France, de la Grande-Bretagne et des États-Unis.

INDUSTRIES.	PAYS.	ANNÉES.	NOMBRE DE PERSONNES EMPLOYÉES HOMMES, FEMMES ET ENFANTS.		BROCHES A FILER ET A RETORDRE.		MÉTIERS A TISSER MÉCANIQUES.	
COTON	France	1876		117.109		4.875.324		51.184 (1)
	Gde-Bretagne	1874		479.515		41.881.789 (2)		463.118
	États-Unis	1870		135.369		7.132.415 (3)		157.310
LAINE DÉCHETS ET MÉLANGES.	France	1876	Laine cardée et peignée 95 779 Mélanges (6).... 32.147	127.926	2.946.632 21.740	2.968.372	38.267 (4) 16.711 (5)	54.978
	Gde-Bretagne	1874	Laine cardée... 138.036 — peignée.. 142.097	280.133	3.425.961 2.582.450	6.008.411	58.527 81.747	140.274
	États-Unis	1870	Laine cardée... 80.053 — peignée.. 12.920 (7)	92.973	1.845.496 200.617	2.046.113	34.183 6.128	40.311
LIN (A). CHANVRE (B). JUTE (C).	France	1876	A, B, C.	55.108		731.243		24.646 (8)
	Gde-Bretagne	1874	A. 128.450 B. 5.211 C. 37.920	171.590	1.555.135 (9) 22.542 (10) 230.185 (11)	1.807.862	41.980 22 9.599	51.601
	États-Unis	1870	A, B, C.	3.170		5.103		406
SOIE ET BOURRE DE SOIE.	France	1876	Dévidage et moulinage. 57.702 Filature de la bourre et tissage. 47.707	105.499	Bassines. 27.367 Tavelles et fuseaux de moulin. 1.121.729 Broches de filature. 242.314		(Fuseaux de métiers à lacets). 727.056	10.470 (12)
	Gde-Bretagne	1874		45.559		1.336.411		10.002
	États-Unis	1870		6.649		12.040 (13)		1.251 (14)

OBSERVATIONS. — (1) + 94.892 métiers à tisser à bras. — (2) Y compris 4.366.017 broches à retordre. — (3) On estime que depuis le dernier recensement officiel, le nombre des broches a été porté de 7 millions à 12 millions, en chiffres ronds. — (4) + 62.230 métiers à bras. — (5) + 25,487 métiers à bras. — (6) Les statistiques anglaises et américaines ne distinguant pas entre les tissus de laine pure (cardée ou peignée) et les tissus avec chaine-coton, il n'a pas été possible d'établir la même division que pour les étoffes françaises en laine pure ou mélangée. — (7) Le nombre des personnes employées par l'industrie du peigné n'était, en 1860, que de 2.378 aux États-Unis. — (8) + 42.806 métiers à bras — (9) 81.335 broches à retordre. — (10) 5.252 broches à retordre. — (11) 9.274 broches à retordre. — (12) Outre ces 10.470 métiers à tisser mécaniques, on compte 99.963 métiers à bras. — (13) Le personnel recensé aux États-Unis semblerait hors de proportion avec le nombre des broches, si l'on n'observait que la consommation de la soie écrue aux États-Unis se chiffrait, en 1870, par 462.965 liv. angl. nécessitant l'emploi de 3.038 dévidoirs et de 2.427 bobinoirs. — (14) + 168 métiers à tisser à bras.

Les chiffres du tableau précédent donnent lieu à diverses remarques. En ce qui concerne le coton, la Grande-Bretagne possédait, en 1874, huit fois et demie autant de broches à filer et à retordre et neuf fois autant de métiers mécaniques à tisser que la France, en 1876; mais le personnel employé chez nos voisins était seulement de quatre fois plus considérable que dans notre pays. La différence s'explique par la spécialisation des usines anglaises, qui ont pu, en raison de nombreux débouchés, s'adonner exclusivement à des produits déterminés. Montés d'un bout de l'année à l'autre avec les mêmes matières pour fabriquer invariablement les mêmes articles, les métiers n'occasionnent aucune perte de temps. Les ouvriers anglais acquièrent ainsi une habileté d'autant plus grande que le service militaire ne les retient pas loin de l'atelier à l'âge où la main-d'œuvre devient surtout productive.

D'autre part, le tissage à bras occupe en France une place beaucoup plus importante qu'à l'étranger, et d'après les chiffres portés dans les observations, nos industries textiles ne comptent pas moins de 325,378 métiers à bras faisant vivre environ cinq cent mille personnes, c'est-à-dire plus que l'industrie cotonnière de toute la Grande-Bretagne ; près de cent mille métiers à bras (99,963) tissent les soieries françaises.

Le développement du tissage mécanique de la laine cardée et de la laine peignée dans le Royaume-Uni semble résulter du montage d'un assez grand nombre de métiers avec des chaînes ourdies en fils de coton.

Quant à l'Amérique, d'après de récents renseignements, qui seront confirmés par le recensement officiel décennal, le nombre des broches de coton s'est accru d'environ 70 °/₀ depuis l'année 1870; les filatures américaines possèdent donc aujourd'hui un matériel près de trois fois aussi considérable que celui de la France. Cette progression rapide suscite à l'Angleterre une concurrence redoutable.

L'extension des filatures et des tissages de laine peignée aux États-Unis mérite également d'attirer l'attention de nos manufacturiers, qui voient se restreindre un de leurs débouchés les plus importants.

Les industriels américains, jaloux de suffire aux besoins du marché intérieur, s'approvisionnent directement de soies écrues en Chine et

au Japon, sans négliger les produits séricicoles de la Californie, et transforment ces matières dans leurs propres ateliers.

En résumé, la statistique rend évidente l'évolution économique à laquelle nous assistons et qui oblige l'Europe à trouver, sous peine de déchoir, des contrées nouvelles pour recevoir l'excédent de sa production.

NOTE

SUR LA

RÉSISTANCE DES TRAINS A LA TRACTION

SUR LES PETITS CHEMINS DE SERVICE

EN USAGE DANS LES MINES

PAR M. ALFRED ÉVRARD

INGÉNIEUR-DIRECTEUR DE LA COMPAGNIE HOUILLÈRE DE FERFAY

Les données que nous possédons sur l'importante question de la résistance à la traction des convois circulant sur les chemins de fer à grande section, sont encore peu nombreuses, bien que l'origine des voies ferrées soit déjà fort éloignée de nous. Les coefficients indiqués par les auteurs qui se sont occupés de cette question s'appliquent à des conditions déterminées, comme établissement et entretien de la voie et du matériel; ils sont susceptibles de variations sensibles d'un chemin de fer à un autre; il faut donc, en les généralisant, ne considérer les résultats du calcul que comme approximatifs. En tous cas on ne peut en étendre l'application aux chemins de fer à petite section, même aux lignes de cette nature les mieux établies, et l'on commettrait une erreur grossière en les appliquant aux petites voies de service, établies, dans des conditions essentiellement économiques, à l'intérieur des usines et dans les mines.

En l'absence d'expériences sérieuses sur le frottement du petit matériel circulant sur ces voies de service, quelques auteurs se sont avancés à donner des indications reproduites dans plusieurs traités d'exploitation des mines, et qui sont en contradiction avec les faits observés dans la pratique.

En attendant que les ingénieurs des mines aient pu réunir sur cette

intéressante question des données d'expérience suffisamment nombreuses et précises, et qu'ils aient soumis à l'analyse les résultats obtenus avec les nombreux types de wagonnets, bennes et berlines en usage dans le roulage souterrain, je vais donner ici quelques indications utiles, qui auront au moins le mérite de s'appuyer sur des expériences faites sur de petites voies de 0m,60 de largeur.

Expression générale de la résistance totale d'une berline à la traction. — La résistance totale qu'un wagon circulant sur une voie ferrée oppose à sa traction a pour expression :

$$R = f(P+p) + f'P\frac{d}{D} + \theta\varepsilon AV^2 \pm (P+p)\sin\alpha.$$

R,	Résistance totale à la traction;	
P,	Poids qui repose sur les roues;	
p,	Poids des roues et des essieux;	
$P+p$,	Poids total du wagon;	
f,	Coefficient du frottement de roulement;	
f',	Coefficient de frottement des essieux dans leurs boîtes;	
d,	Diamètre des fusées;	
D,	Diamètre des roues;	
θ,	Coefficient constant;	$\theta\varepsilon AV^2$. Terme représentant la résistance de l'air.
ε,	Coefficient qui dépend du rapport de la longueur du prisme présenté à la résistance de l'air au côté de la base de ce même prisme;	
V,	Vitesse relative comparée à celle de l'air et exprimée en mètres par seconde;	
A,	Base du prisme en mètres carrés;	
α,	Angle que fait le profil du chemin avec l'horizon.	

A la vitesse ordinaire des wagonnets ou berlines circulant sur les petites voies souterraines, vitesse qui varie de 1 mètre à 3m,50 par seconde, on peut négliger le terme $\theta\varepsilon AV^2$ représentant la résistance de l'air; de sorte que l'expression générale de la résistance totale d'une berline devient :

1° Dans le cas d'une berline vide,

$$R = f(P + p) + f' P \frac{d}{D} \pm (P + p) \sin \alpha;$$

2° Dans le cas d'une berline chargée,

$$R = f(P + p + P') + f'(P + P') \frac{d}{D} \pm (P + p + P') \sin \alpha.$$

P,	Poids de la caisse;
p,	Poids des deux essieux montés;
$P + p$,	Poids de la berline vide ou *poids mort;*
P',	Poids de la charge ou *poids utile;*
$P + p + P'$,	Poids de la berline chargée.

Valeurs et rapports des poids. — En général, le poids des deux essieux montés représente de 0,20 à 0,30 du poids mort; on peut poser en moyenne :

$$p = 0{,}25\,(P + p).$$

D'un autre côté, en comparant quinze types de berlines ou wagonnets de mines pris dans différents bassins houillers, je relève les moyennes suivantes :

Charge ou poids utile.	$P' = 529$ kil.
Poids mort.	$P + p = 232$ kil.
Rapport de la charge au poids mort. . .	$\frac{P'}{P + p} = 2{,}28$
Rapport du poids total au poids mort. .	$\frac{P + p + P'}{P + p} = 3{,}28$

On déduit de ces diverses données :

$$P + p = 0{,}44\ P'$$
$$p = 0{,}11\ P'$$
$$P = 0{,}33\ P'$$
$$P + p + P' = 1{,}44\ P'.$$

Ces valeurs résultent du tableau suivant :

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉSIGNATION DES TYPES DE BERLINES OU DE WAGONNETS.	POIDS TOTAL. $P+p+P'$	POIDS UTILE. P'	POIDS MORT. $P+p$	PRIX du chariot.	RAPPORT du chariot plein au vide. $\frac{P+p+P'}{P+p}$	RAPPORT de la charge au poids mort. $\frac{P'}{P+p}$
		kil.	kil.	kil.	fr.		
1	Wagonnet de Mons.........	332	240	92	50	3.60	2.60
2	Wagonnet de Newcastle.....	590	400	190	125	3.10	2.10
3	Berline en tôle de Liége.....	810	600	210	140	3.85	2.85
4	Berline d'Anzin............	590	390	200	102	2.95	1.95
5	Berline de Blanzy..........	830	600	230	»	3.60	2.60
6	Benne de la Grand'Combe......	450	340	140	77	3.20	2.20
7	Berline Cabany............	680	500	180	»	3.78	2.78
8	Char à quatre bennes.......	945	600	345	166	2.74	1.74
9	Grande benne de Blanzy....	1350	1000	350	»	3.85	2.85
10	Grand wagonnet de la Grand' Combe................	1400	1000	400	240	3.50	2.50
11	Berline en bois de Ferfay, type n° 1..................	560	370	190	55	2.95	1.95
12	Berline en bois de Ferfay, type n° 2..................	594	400	194	62	3.05	2.05
13	Berline ovale en tôle de Bézenet..................	730	465	265	92	2.75	1.75
14	Berline ovale en tôle de Saint-Étienne................	754	500	254	110	2.96	1.96
15	Berline carrée en tôle de Saint-Étienne................	809	545	264	115	3.06	2.06
	Moyennes..........	761	529	232	120	3.28	2.28

Dans ce tableau figurent quelques types de wagonnets dont les dimensions s'écartent notablement de celles qu'on rencontre, d'une manière plus fréquente, dans le matériel des houillères françaises. Les berlines n[os] 4, 11, 12, 14 et 15 appartiennent, au contraire, à des types répandus se rapprochant des conditions déterminées par les relations suivantes :

$$P + p = 0{,}50\ P'$$
$$p = 0{,}25\ (P + p) = 0{,}125\ P'$$
$$P = 0{,}375\ P'$$
$$P + p + P' = 1{,}50\ P'.$$

Valeur de f. — La valeur de f est susceptible de varier dans des limites étendues sur les petites voies souterraines, qui présentent de si grandes différences dans les conditions d'établissement et d'entretien; elle dépend beaucoup du degré d'encrassement des rails par des matières terreuses dans lesquelles le bourrelet des roues trace un

sillon ; elle dépend aussi de l'état des roues qui sont plus ou moins lisses, plus ou moins propres, et plus ou moins creusées par l'usure.

On peut admettre que dans des voies souterraines de $0^m,60$ de largeur la valeur de f est, en général, comprise entre 0,005 et 0,009, soit en moyenne 0,007, valeur sept fois plus grande que celle qui a été trouvée sur les grands chemins de fer[1].

Valeur de f'. — Le coefficient f' est relatif au frottement des essieux dans leurs coussinets, si les essieux sont mobiles, ou au frottement des roues autour des fusées, si les roues ne sont pas calées sur les essieux. Ce frottement est, comme le précédent, susceptible de grandes variations. Le petit matériel roulant des mines est généralement pourvu de moyens de graissage très imparfaits, et les matières lubrifiantes dont on fait usage sont souvent de mauvaise qualité ; cette imperfection est encore augmentée par le cambouis que la poussière des chantiers accumule autour des axes de rotation. Au chiffre de 0,05 adopté pour le grand matériel convenablement graissé, il faut, dans le cas du petit matériel souterrain, substituer le coefficient de 0,10 applicable aux surfaces simplement onctueuses et mouillées.

Valeur de $\frac{d}{D}$. — Quant à la valeur de $\frac{d}{D}$, qui s'abaisse à $\frac{1}{14}$ dans le grand matériel, et qui, dans tous les cas, est comprise entre $\frac{1}{12}$ et $\frac{1}{14}$, elle s'élève en moyenne à $\frac{1}{10}$ pour le matériel roulant en usage dans les mines, où le diamètre des roues est limité par la hauteur des galeries, par la nécessité d'assurer la stabilité, par l'écartement d'essieux que permet le rayon des courbes, etc., etc.

Application du calcul aux berlines de Bézenet. — Appliquons ces données aux berlines de Bézenet (type n° 13 du tableau de la page 4). Ces berlines pèsent vides 265 kilogrammes ; elles contiennent 465 kilogrammes de houille.

1. J'ai laissé librement descendre des essieux de berlines sur un plan incliné de 15° de pente établi dans des conditions médiocres à la fosse n° 2 de Ferfay. En observant la durée de la descente avec un chronomètre à secondes, j'ai pu calculer la valeur de f que j'ai trouvée $= 0,0073$.

On a :

$$P + p = 265 \text{ kilogrammes},$$
$$p = 0{,}25\,(P + p) = 66 \quad —$$
d'où
$$P = 199 \quad —$$

$$f = 0{,}007$$
$$\left.\begin{array}{l} f' = 0{,}1 \\ \frac{d}{D} = 0{,}1 \end{array}\right\} \text{ d'où } f'\frac{d}{D} = 0{,}01.$$

1° Pour une berline vide circulant en palier, on aura :

$$R = 0{,}007 \times 265 + 0{,}01 \times 199 = 1{,}855 + 1{,}99 = 3{,}845,$$
$$F = \frac{R}{P + p} = \frac{3{,}845}{265} = 0{,}01451,$$
$$= \frac{1}{69};$$

2° Dans le cas d'une berline pleine, on aura :

$$R = 0{,}007 \times 730 + 0{,}1 \times 664 = 5{,}11 + 6{,}64 = 11{,}75,$$
$$F = \frac{11{,}75}{730} = 0{,}0161,$$
$$= \frac{1}{62}.$$

On va voir que les résultats du calcul concordent avec les expériences faites pour mesurer directement la résistance totale à la traction des berlines de Bézenet.

Expériences faites à Bézenet pour la mesure du frottement total. — En juillet 1868, des expériences ont été faites aux mines de Bézenet pour mesurer le frottement total des berlines et comparer le graissage ordinaire à l'huile, sans boîtes spéciales, avec le système de M. Condat basé sur l'emploi de la graisse semi-fluide. Les essais ont été faits sur deux plans inclinés, de pente inverse, raccordés par une courbe à leur partie inférieure; on observait la hauteur à laquelle une berline qui avait librement descendu la pente

du premier plan, remontait sur le plan ascendant. On a appliqué la formule :

$$F = \frac{H - h}{E + e}.$$

H, Hauteur du point de départ des berlines sur le premier plan incliné ;

h, Hauteur de l'arrivée sur le deuxième plan incliné ;

E, Longueur de la descente sur le premier plan ;

e, Longueur de la remonte sur le deuxième plan.

Pour rendre les résultats bien comparables, les expériences ont été faites avec des berlines neuves, des deux systèmes, ayant fonctionné dix jours.

Première série d'expériences.

Les berlines ordinaires ont été graissées, et les godets graisseurs des roues Condat ont été remplis. Avant de commencer les expériences, on a fait parcourir à toutes les berlines un espace d'environ 500 mètres.

Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau n° 1 ; on a trouvé en moyenne :

Pour les roues Condat. . . . . $F = \frac{1}{63,5}$;

Pour les roues ordinaires. . . . $F = \frac{1}{68}$.

Deuxième série d'expériences.

Les berlines ont circulé pendant plusieurs heures ; les roues Condat étaient dans un bon état de graissage ; les roues ordinaires, au contraire, étaient presque sèches.

Les résultats sont consignés dans la deuxième partie du tableau n° 1 ; on a obtenu :

Pour les roues Condat. . . . . $F = \frac{1}{60}$;

Pour les roues ordinaires. . . . $F = \frac{1}{60}$.

En prenant la moyenne des deux séries d'expérience, on a :

Pour les roues Condat. . . . . $F = \frac{1}{61,3}$;

Pour les roues ordinaires. . . . $F = \frac{1}{63,6}$.

Expériences faites aux houillères de Bézenet (Allier) pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines en tôle (type n° 12).

N° 1. PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

ROUES DU SYSTÈME CONDAT Graissage à la graisse semi-fluide.						ROUES ORDINAIRES Graissage à l'huile.					
NUMÉROS des expériences.	e	h	$H-h$	$E+e$	$F=$	NUMÉROS des expériences.	e	h	$H-h$	$E+e$	$F=$
3	17.00	0.170	0.830	44.10	0.0188	1	22.00	0.220	0.780	49.10	0.0158
4	19.00	0.190	0.810	46.10	0.0176	2	24.00	0.240	0.760	51.10	0.0148
5	15.20	0.152	0.848	42.30	0.0200	15	20.20	0.202	0.798	47.30	0.0168
6	13.30	0.133	0.867	40.50	0.0214	16	20.70	0.207	0.793	47.80	0.0165
7	35.50	0.355	0.645	62.60	0.0103	17	36.50	0.365	0.635	63.60	0.0099
8	36.40	0.364	0.636	63.50	0.0100	18	36.70	0.367	0.633	63.80	0.0099
9	20.70	0.207	0.793	47.80	0.0165	19	17.00	0.170	0.830	44.10	0.0188
10	22.30	0.223	0.777	49.40	0.0157	20	17.50	0.175	0.845	42.60	0.0195
11	23.30	0.233	0.767	50.50	0.0151	23	33.00	0.330	0.670	60.10	0.0111
12	24.40	0.244	0.756	51.50	0.0146	24	38.00	0.380	0.620	65.10	0.0095
13	27.10	0.271	0.729	54.20	0.0134	27	16.30	0.163	0.837	43.40	0.0192
14	25.60	0.256	0.744	52.70	0.0141	28	16.50	0.165	0.835	43.60	0.0191
21	26.50	0.265	0.735	53.60	0.0137	29	30.20	0.302	0.698	57.30	0.0121
22	28.20	0.282	0.718	55.30	0.0129	30	31.00	0.310	0.690	58.10	0.0118
25	14.90	0.149	0.851	42.00	0.0202						0.2051
26	14.60	0.146	0.854	41.70	0.0204		Moyenne...			1/68 =	0.01465
					0.2547		Ces expériences ont eu lieu de 8h,30 à 10h du matin.				
	Moyenne...			1/63.5 =	0.01591		Température 20° centigrades.				

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

31	25.75	0.257	0.743	52.85	0.0140	43	18.80	0.188	0.812	45.90	0.0176
32	28.80	0.288	0.712	55.90	0.0127	44	16.60	0.166	0.834	43.70	0.0190
33	24.80	0.248	0.752	51.90	0.0144	45	22.60	0.226	0.774	49.70	0.0155
34	24.80	0.248	0.752	51.90	0.0144	46	24.60	0.246	0.754	51.70	0.0145
35	18.20	0.182	0.818	45.30	0.0180	49	29.50	0.295	0.705	56.60	0.0124
36	20.25	0.202	0.798	47.35	0.0168	50	29.50	0.295	0.705	56.60	0.0124
37	31.25	0.312	0.688	58.35	0.0117	51	9.00	0.090	0.910	36.10	0.0252
38	32.40	0.324	0.676	59.50	0.0113	52	11.60	0.116	0.884	38.70	0.0228
39	9.60	0.096	0.904	36.70	0.0246	55	22.40	0.224	0.776	49.50	0.0156
40	9.20	0.092	0.908	36.30	0.0250	56	23.50	0.235	0.765	50.60	0.0151
41	17.00	0.170	0.830	44.10	0.0188	57	36.40	0.364	0.636	63.50	0.0100
42	17.80	0.178	0.822	44.90	0.0183	58	36.60	0.366	0.634	63.70	0.0099
47	12.80	0.128	0.872	39.90	0.0218	59	13.00	0.130	0.870	40.10	0.0216
48	14.80	0.148	0.852	41.90	0.0208	60	12.10	0.121	0.879	39.20	0.0224
53	30.30	0.303	0.697	57.40	0.0121						0.2340
54	29.70	0.297	0.703	56.80	0.0123		Moyenne...			1/60 =	0.0167
					0.2665						
	Moyenne...			1/60 =	0.0167						

Expériences de M. Lombard. — Antérieurement aux essais dont il vient d'être question, M. Lombard, ingénieur-directeur des mines de Graissessac, avait fait quelques expériences pour mesurer la résistance à la traction du matériel roulant des houillères. Dans ces expériences, M. Lombard s'était, comme à Bézenet, proposé de comparer l'efficacité de plusieurs systèmes de graissage. Cet ingénieur avait trouvé :

Pour les roues ordinaires fraîchement graissées à l'huile. $F = \frac{1}{63}$;

Pour les roues de son système[1] après quatre jours de graissage. . . . . $F = \frac{1}{63}$;

Pour les roues à gorge du système Cabany. . . . . . . $F = \frac{1}{49}$.

En comparant, pour un même système, l'emploi de la graisse et de l'huile d'olive, M. Lombard a obtenu en faveur de cette dernière matière une diminution d'environ 4 pour 100 dans la valeur de F, ce qui est conforme à la moyenne des résultats observés à Bézenet.

Expériences faites aux houillères de Ferfay, en 1877. — On se servait, en 1877, aux houillères de Ferfay, de divers types de berlines laissant à désirer sous bien des rapports, mais qui avaient pu suffire, jusque-là, à une extraction par puits peu développée. On s'était surtout laissé guider dans le choix de ce matériel défectueux par la pensée d'avoir des berlines légères devant circuler sur des voies gondolées par le boursouflement continuel du mur, et sur des plans inclinés nombreux et à fortes pentes. Cette dernière considération avait imposé l'emploi de caisses en bois, et une construction simple et économique pouvant permettre de remplacer, à peu de frais, le matériel mis promptement hors de service. Un essai timide de berlines en tôle montées sur châssis en bois, avait été fait à la fosse n° 3, sur une voie de fond et dans une vallée desservie par un traînage mécanique. On avait renoncé à ce système, malgré les bons résultats obtenus dans cette région de la mine, à cause de la nécessité

1. Les roues du système Lombard sont munies d'un réservoir d'huile.

de faire circuler le même matériel dans toutes les parties de l'exploitation et par conséquent sur tous les plans inclinés.

Voici, en résumé quelle était, en 1877, la composition du matériel roulant de Ferfay :

1° Fosse n° 1. — Berlines en bois de 4 hectolitres, pesant vides de 180 à 190 kilogrammes (n° 11 du tableau de la page 4); roues à gorge, de $0^m,280$ de diamètre; fusées de $0^m,032$ de diamètre. Les essieux tournent dans des coussinets et les roues tournent également sur les fusées. Voie en rails à simple T de $0^m,050$ de hauteur et de $0^m,045$ de base, pesant environ 5 kilogrammes le mètre courant;

2° Fosse n° 2. — Mêmes berlines que les précédentes;

3° Fosse n° 2. — Les mêmes caisses montées sur des essieux de $0^m,040$, tournant dans des coussinets et munis de roues calées, à boudin (roues plates). Ces berlines roulent sur un fer à double bourrelet pesant 5 kilogrammes le mètre courant;

4° Fosse n° 3. — Mêmes roues et mêmes essieux montés sur des caisses de 4 hectol. 5;

5° Fosse n° 3. — Mêmes berlines que le type précédent, mais avec des boîtes à graisse permettant un graissage moins fréquent; ces berlines pèsent environ 215 kilogrammes;

6° Fosse n° 3. — Berlines en tôle pesant vides 250 kilogrammes, et contenant 5 hectolitres; mêmes essieux, mêmes roues et mêmes boîtes à graisse que pour le type précédent.

Il était intéressant de se rendre compte de la résistance à la traction opposée par ces différents types de berlines. Les expériences ont eu lieu les 24, 25 et 26 avril 1877. Comme à Bézenet, on a opéré sur deux plans inclinés en sens inverse, le premier ayant une longueur fixe, l'autre une longueur indéterminée. Le premier plan avait une longueur E de 30 mètres et une hauteur H de 1 mètre, ce qui donnait une pente de $0^m,0333$ par mètre. Le second plan incliné offrait à la remonte des berlines une rampe de $0^m,01$. Les berlines lancées du haut du premier plan remontaient sur le second à une hauteur h et parcouraient, sur ce second plan, une longueur e. Le coefficient de frottement était, comme à Bézenet, déterminé par la formule :

$$F = \frac{H - h}{E + e}.$$

Les deux plans inolinés étaient munis d'une double voie : l'une établie en rails à double champignon pour les roues plates, l'autre en fer à simple T pour les roues à gorge.

Les résultats de ces expériences sont indiqués dans les tableaux (n° 2 à n° 9).

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES NEUVES EN BOIS DESSERVANT LE TRAINAGE MÉCANIQUE DE LA FOSSE N° 3.

N° 2. *Roues plates, graissage assez soigne.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	$H - h$	$E + e$	F	OBSERVATIONS.
1	7.66	0.0766	0.9234	37.66	0.0245	
2	6.60	0.0660	0.9740	36.60	0.0266	
3	7.10	0.0710	0.9290	37.10	0.0250	
4	8 57	0.0857	0.9143	38.57	0.0237	
5	7.00	0.0700	0.9300	37.00	0.0251	
6	8.50	0.0850	0.9150	38.50	0.0238	
7	10.85	0.1085	0.8915	40.85	0.0218	
8	12.55	0.1255	0.8745	42.55	0.0205	
9	14.47	0.1447	0.8553	44.47	0.0192	Moyenne : $= \frac{0,04022}{19}$
10	12.40	0.1240	0.8760	42.40	0.0206	
11	13.58	0.1358	0.8642	43.58	0.0198	$F = \frac{1}{47}$
12	13.58	0.1358	0.8642	43.58	0.0198	
13	14.34	0.1434	0.8566	44.34	0.0193	
14	16.12	0.1612	0.8388	46.12	0.0182	
15	18.95	0.1895	0.8105	48.95	0.0166	
16	18.82	0.1882	0.8118	48.82	0.0166	
17	12.42	0.1242	0.8758	42.42	0.0206	
18	11 94	0.1194	0.8805	41.94	0.0209	
19	13.83	0.1383	0.8617	43.83	0.0196	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES NEUVES EN BOIS DESSERVANT LE TRAINAGE MÉCANIQUE DE LA FOSSE N° 3.

N° 3. *Roues plates, graissage soigné.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	H — h	E + e	F	OBSERVATIONS.
1	24.55	0.2455	0.7545	54.55	0.0138	
2	26.78	0.2678	0.7322	56.78	0.0129	
3	26.47	0.2647	0.7353	56.47	0.0128	
4	25.51	0.2551	0.7449	55.51	0.0134	
5	25.58	0.2558	0.7442	55.58	0.0134	Moyenne = 0,01253
6	30.80	0.3080	0.6920	60.80	0.0114	$F = \frac{1}{79.8}$
7	30.23	0.3023	0.6977	60.23	0.0116	
8	29.46	0.2946	0.7054	59.46	0.0118	
9	29.10	0.2910	0.7090	59.10	0.0119	
10	28.18	0.2818	0.7182	58.18	0.0123	
					0.1253	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN BOIS DESSERVANT LE ROULAGE ORDINAIRE DE LA FOSSE N° 3 (TYPE N° 12)

Construites chez M. Corroyez, constructeur, et ayant fait un assez long service dans la mine.

N° 4. *Roues plates, graissage soigné.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	H — h	E + e	F	OBSERVATIONS.
1	29.08	0.2908	0.7092	59.08	0.0120	
2	31.38	0.3138	0.6862	61.38	0.0112	
3	31.71	0.3171	0.6829	61.71	0.0110	
4	31.67	0.3167	0.6833	61.67	0.0111	
5	31.27	0.3127	0.6873	61.27	0.0112	Moyenne = 0.01019
6	34.00	0.3400	0.6600	64.00	0.0106	$F = \frac{1}{98}$
7	40.00	0.4000	0.6000	70.00	0.0086	
8	39.00	0.3900	0.6100	69.00	0.0088	
9	40.00	0.4000	0.6000	70.00	0.0086	
10	39.00	0.3900	0.6100	69.00	0.0088	
					0.1019	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN TOLE DU TRAINAGE MÉCANIQUE BIEN GRAISSÉES ET CHARGÉES DE TERRE. — BERLINES NEUVES.

N° 5. *Roues plates.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	H — h	E + e	F	OBSERVATIONS.
1	10.02	0.1002	0.8998	40.02	0.0225	
2	15.33	0.1533	0.8467	45.33	0.0186	
3	17.42	0.1742	0.8258	47.42	0.0174	
4	17.70	0.1770	0.8230	47.70	0.0173	
5	19.85	0.1985	0.8015	49.85	0.0161	Moyenne = 0.01635
6	21.96	0.2196	0.7804	51.96	0.0150	$F = \frac{1}{61.2}$
7	22.08	0.2208	0.7792	52.08	0.0149	
8	23.59	0.2359	0.7641	53.59	0.0142	
9	24.86	0.2486	0.7514	54.86	0.0137	
10	24.65	0.2465	0.7535	54.65	0.0138	
					0.1635	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES NEUVES EN BOIS DE LA FOSSE N° 2 (TYPE N° 11).

N° 6. *Roues à gorge, graissage ordinaire.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	H — h	E + e	F	OBSERVATIONS.
1	9.08	0.0908	0.9092	39.08	0.0232	
2	10.01	0.1001	0.8999	40.01	0.0225	
3	9.85	0.0985	0.9015	39.85	0.0226	
4	8.29	0.0829	0.9171	38.29	0.0233	
5	8.92	0.0892	0.9108	38.92	0.0234	Moyenne = 0.02371
6	8.99	0.0899	0.9101	38.99	0.0233	$F = \frac{1}{42.2}$
7	7.84	0.0784	0.9216	37.84	0.0243	
8	7.33	0.0733	0.9267	37.33	0.0248	
9	7.31	0.0731	0.9269	37.31	0.0248	
10	7.19	0.0719	0.9281	37.19	0.0249	
					0.2371	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN BOIS DE LA FOSSE N° 2 (TYPE N° 11) AYANT SERVI.

N° 7. *Roues à gorge, berlines bien graissées.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	$H-h$	$E+e$	F	OBSERVATIONS.
1	14.26	0.1426	0.8574	44.26	0.0193	
2	18.13	0.1813	0.8187	48.13	0.0170	
3	18.23	0.1823	0.8177	48.23	0.0169	
4	17.56	0.1756	0.8244	47.56	0.0173	
5	17.01	0.1701	0.8299	47.01	0.0177	Moyenne = 0.01761
6	17.18	0.1718	0.8282	47.18	0.0175	
7	17.48	0.1748	0.8252	47.48	0.0174	$F = \frac{1}{56.7}$
8	17.23	0.1723	0.8277	47.23	0.0175	
9	16.73	0.1673	0.8327	46.73	0.0178	
10	16.86	0.1686	0.8314	46.86	0.0177	
					0.1761	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

MÊMES BERLINES QU'AU TABLEAU N° 7, NEUVES, TRÈS BIEN GRAISSÉES.

N° 8.

NUMÉROS des expériences.	e	h	$H-h$	$E+e$	F	OBSERVATIONS.
1	9.670	0.0967	0.9033	39.670	0.0228	
2	13.580	0.1358	0.8642	43.580	0.0198	
3	11.140	0.1114	0.8886	41.140	0.0216	
4	12.020	0.1202	0.8798	42.020	0.0209	
5	12.990	0.1299	0.8701	42.990	0.0202	Moyenne = 0.01991
6	15.200	0.1520	0.8480	45.200	0.0187	
7	15.780	0.1578	0.8422	45.780	0.0184	$F = \frac{1}{50.2}$
8	15.730	0.1573	0.8426	45.730	0.0184	
9	14.490	0.1449	0.8550	44.490	0.0192	
10	14.590	0.1459	0.8540	44.590	0.0191	
					0.1991	

Expériences faites aux houillères de Ferfay pour déterminer le coefficient du frottement total des berlines.

BERLINES EN BOIS DE LA FOSSE N° 2 (TYPE N° 11), MAIS AVEC DES ROUES PLATES.

N° 9. *Berlines bien graissées.*

NUMÉROS des expériences.	e	h	$H-h$	$E+e$	F	OBSERVATIONS.
1	22.18	0.2218	0.7782	52.18	0.0149	
2	29.30	0.2930	0.7070	59.30	0.0119	
3	27.10	0.2710	0.7290	57.10	0.0127	
4	29.98	0.2998	0.7002	59.98	0.0116	
5	29.15	0.2915	0.7085	59.15	0.0119	Moyenne $=0.01227$
6	27.78	0.2778	0.7222	57.78	0.0125	$F=\frac{1}{81.5}$
7	28.77	0.2877	0.7123	58.77	0.0121	
8	29.30	0.2930	0.7070	59.30	0.0119	
9	31.07	0.3107	0.7893	61.07	0.0129	
10	34.00	0.3400	0.6600	64.00	0.0103	
					0.1227	

Résumé des expériences faites à Ferfay, en 1877. — En résumé, les expériences faites aux mines de Ferfay, en 1877, ont fourni les résultats suivants :

(a) Matériel de la fosse n° 3.

1° Berlines neuves et assez bien graissées du traînage mécanique. . . . . $F=\frac{1}{47}$;

2° Mêmes berlines ayant servi et bien graissées. . . . $F=\frac{1}{79.8}$.

Ce premier résultat accuse une diminution de 68 pour 100 dans la valeur du coefficient de frottement, en faveur du matériel dont les surfaces frottantes ont acquis par l'usage un certain degré de poli.

3° Berlines ayant servi, bien graissées, construites en dehors des ateliers de la Compagnie. . . . . $F=\frac{1}{98}$.

On voit qu'en faisant établir le même matériel chez un constructeur, avec des soins un peu plus grands que ceux qu'on accordait d'ordinaire à ce genre de construction dans les ateliers de la Compagnie, on a réalisé une diminution de 24 pour 100 dans la valeur de F.

4° Berlines en tôle, montées sur châssis en bois, n'ayant point encore servi, bien graissées. . . . . $F = \frac{1}{61}$.

Ces berlines, établies avec des soins particuliers par M. Tan-Villain, constructeur à Anzin, étaient pourvues du même système de graissage que les berlines en bois du traînage mécanique. Ces dernières avaient donné, avant tout service, $F = \frac{1}{47}$; elles avaient été construites dans les ateliers de la Compagnie par des ouvriers moins habiles. On voit que les soins apportés dans la construction se traduisent ici par une diminution de 31 pour 100 dans la valeur du coefficient du frottement.

Si nous faisons la moyenne des résultats trouvés avec le matériel de la fosse n° 3, nous obtenons :

$$F = \frac{1}{71.5}.$$

(*b*) Matériel des fosses n° 1 et n° 2.

1° Berlines neuves moyennement graissées, roues à gorge. . . . . $F = \frac{1}{42,2}$;

2° Mêmes berlines, graissées dans les mêmes conditions, mais ayant servi. . . . . $F = \frac{1}{56,7}$;

3° Berlines neuves, même type, abondamment graissées. . . . . $F = \frac{1}{50,1}$;

Moyenne pour les roues à gorge. . . $F = \frac{1}{49,6}$;

4° Berlines à roues plates, bien graissées. . . . . . . $F = \frac{1}{81,5}$.

Cette deuxième série d'essais accuse, pour les berlines pourvues de roues à gorge, système essentiellement vicieux, le même coefficient moyen que celui constaté par M. Lombard pour un matériel muni de roues semblables (système Cabany). Elle fait de nouveau ressortir l'avantage que présentent les berlines ayant déjà quelque temps de service sur les berlines neuves; cet avantage se traduit ici par une diminution de 35 pour 100 dans la valeur du coefficient de frottement. Quant à la diminution obtenue, en passant, pour un même système, d'un graissage moyen à un graissage abondant, elle est ici de 19 pour 100.

Le coefficient moyen pour les berlines des trois fosses serait de $\frac{1}{67,5}$.

Nouvelles expériences faites à Ferfay en 1879. — En février 1879 de nouveaux essais ont été faits, aux mines de Ferfay, pour mesurer le frottement total des berlines; on a opéré, dans cette nouvelle série d'expériences, sur des berlines isolées, pleines ou vides, et sur des trains entiers, tels qu'on les compose dans le roulage souterrain. Ces essais ont été faits par une autre méthode que celle dont on s'était servi lors des premières expériences; on a lancé les trains ou les véhicules isolés à une vitesse déterminée V_0 sur une voie de $0^m,60$ de largeur établie en rails à double bourrelet, dans les conditions ordinaires des voies souterraines, et l'on a mesuré l'espace S librement parcouru depuis le point où avait lieu la suppression du moteur (rouleur ou cheval) jusqu'au point où l'arrêt se produisait. La résistance à la traction, exprimée en kilogrammes, se tirait de l'équation :

$$x \times S = \left(\frac{1}{2}\, m + b\right) V_0^2.$$

m, Masse du véhicule;

b, Terme dépendant des masses tournantes[1].

Cette équation donnait la valeur de x, résistance moyenne pendant

1. La puissance vive de rotation des roues tendant à pousser le véhicule en avant, il convient d'en tenir compte par le terme additionnel b.

le parcours, en supposant la pente nulle; on corrigeait le résultat par le terme additionnel $\pm \frac{Pi}{1000}$. (P étant le poids total exprimé en kilogrammes, et i la pente exprimée en millimètres.) On en déduisait enfin la valeur $\frac{x}{P} = F$.

Les premières expériences ayant donné la mesure de ce qu'on pouvait obtenir avec des berlines neuves ou en bon état d'entretien, on s'est surtout attaché, dans ces nouveaux essais, à expérimenter des berlines dont l'entretien laissait à désirer. On a exclusivement opéré sur les berlines à roues plates de la fosse n° 2, type auquel se rapportent, dans la série des essais précédents, les chiffres du tableau n° 9 et le coefficient moyen de $\frac{1}{81,5}$.

Avec des berlines en mauvais état, la valeur de F s'est maintenue entre $\frac{1}{52}$ et $\frac{1}{69}$, soit en moyenne $\frac{1}{60}$ ou une augmentation de 23 % sur l'ancien coefficient. Avec une berline en très mauvais état, dont les planches disjointes fléchissaient sous la charge au point de toucher les essieux, le coefficient de frottement s'est élevé à $\frac{1}{30}$. Ces chiffres se rapportent à des véhicules isolés, pleins ou vides, poussés par des rouleurs à la vitesse normale.

Pour des trains complets, à charge ou à vide, traînés par un cheval de force moyenne, à la vitesse ordinaire, la valeur de F s'est maintenue entre $\frac{1}{60}$ et $\frac{1}{71}$, l'état des berlines laissant à désirer, mais le graissage étant fait dans les conditions de service.

Résumé et conclusion. — Si l'on résume les diverses expériences faites à Bézenet, à Ferfay et celles qu'a faites M. Lombard, on voit que si, avec le matériel monté sur roues à gorge, le coefficient de frottement peut s'élever à $\frac{1}{40}$, valeur qu'il peut encore atteindre avec des berlines d'un meilleur système, mal entretenues ou mal graissées, ce coefficient peut aussi, même avec un matériel peu perfectionné,

descendre en dessous de $\frac{1}{80}$. La valeur moyenne de $\frac{1}{98}$ a été obtenue dans les expériences du tableau n° 4.

Avec un matériel de construction soigné, muni d'un bon système de graissage, on doit pouvoir maintenir le coefficient de frottement autour de $\frac{1}{100}$, sur des voies de $0^m,60$, bien établies et soigneusement entretenues; on comprendra, par ce qui va suivre, l'intérêt qui s'attache à ce résultat.

Pente d'égale résistance et pente d'équilibre. — Appelons toujours F le coefficient du frottement total des berlines, et conservons aux lettres P, p et P′ les mêmes significations que précédemment, i désignant la pente par mètre = Tang. α, que dans les conditions ordinaires des galeries de mines on peut substituer à sin. α, R exprimant la résistance à la traction d'une berline vide, et R′ la résistance d'une berline pleine, on a :

$$R = F (P + p) + (P + p) i,$$
$$R' = F (P + p + P') - (P + p + P') i.$$

Connaissant le coefficient de frottement F d'un système de berlines circulant sur un type de voie déterminé, on peut se proposer deux problèmes :

1° On peut chercher l'inclinaison à donner aux galeries de roulage, pour que la résistance des berlines pleines qui descendent soit la même que celle des berlines vides qui remontent. Cette *pente d'égale résistance* réalise une bonne utilisation de la force des rouleurs ou des chevaux; elle s'obtient en posant :

$$F (P + p) + (P + p) i = F (P + p + P') - (P + p + P') i.$$

Remplaçant P + p et P + p + P′ par les valeurs en fonction de P′ fixées page 5, et relatives aux types de berlines les plus répandus dans les houillères françaises, on trouve la relation simple :

$$i = \frac{F}{2}.$$

2° On peut encore chercher quelle est la *pente d'équilibre*, c'est-à-

dire celle sur laquelle les berlines sont sur le point de descendre seules. Pour cela, il suffit de poser :

$$F(P + p + P') - (P + p + P')\,i = 0.$$

D'où

$$i = F.$$

Le tableau suivant donne, pour les coefficients de frottement compris entre $\frac{1}{40}$ et $\frac{1}{100}$, les valeurs correspondantes de la pente d'équilibre et de la pente d'égale résistance.

VALEURS DE F	PENTES D'ÉQUILIBRE $i = F$	PENTES D'ÉGALE RÉSISTANCE $i = \frac{F}{2}$
$\frac{1}{40}$	m. 0.0250	0.0125
$\frac{1}{45}$	0.0220	0.0110
$\frac{1}{50}$	0.0200	0.0100
$\frac{1}{55}$	0.0184	0.0092
$\frac{1}{60}$	0.0166	0.0083
$\frac{1}{65}$	0.0154	0.0077
$\frac{1}{70}$	0.0143	0.0071
$\frac{1}{75}$	0.0133	0.0067
$\frac{1}{80}$	0.0125	0.0062
$\frac{1}{85}$	0.0118	0.0059
$\frac{1}{90}$	0.0111	0.0055
$\frac{1}{95}$	0.0105	0.0053
$\frac{1}{100}$	0.0100	0.0050

Dans le cas de la pente d'égale résistance, on a pour l'expression de l'effort à la remonte :

$$R_1 = (P + p)(F + i) = (P + p) \times \frac{3F}{2}.$$

Dans le cas de la pente d'équilibre, on a :

$$R_2 = (P + p) \times 2F,$$

d'où

$$\frac{R_2}{R_1} = 1,33.$$

Ainsi, en substituant la pente d'équilibre à la pente d'égale résistance, on impose au rouleur un surcroît d'effort de 33 pour 100, lors de la remonte des berlines vides; par contre, il n'éprouve que fort peu de fatigue à la descente. Il n'en éprouve même aucune lorsque, après avoir lancé sa berline sur la pente, il peut monter sur le véhicule et se laisser entraîner. Cette dernière manœuvre, quand elle est possible sans danger, c'est-à-dire quand les galeries sont spacieuses et la voie en parfait état, rend la pente d'équilibre avantageuse pour les longs parcours; encore faut-il que la production soit assez restreinte pour qu'il n'y ait jamais encombrement ni crainte de collision. Dès que la production s'élève, on trouve presque toujours avantage à remplacer les hommes par les chevaux pour les transports sur de longs parcours. En un mot, dans les conditions ordinaires du roulage souterrain, on fait une application plus générale de la pente d'égale résistance. Il se présente dans l'exploitation des grandes couches un cas où l'avantage de la pente d'équilibre est incontestable, c'est quand l'exploitation est desservie par deux galeries de pente inverse, l'une servant au départ du minerai ou de la houille, l'autre réservée à l'arrivée des remblais provenant du jour. Dans ce cas particulier, si le roulage s'opère par hommes, on adopte la pente d'équilibre, et si le transport s'effectue par chevaux, on admet une inclinaison légèrement inférieure à la pente d'équilibre.

Dans les houillères du nord de la France l'inclinaison des galeries de roulage est ordinairement comprise entre $0^m,005$ et $0^m,009$ par mètre, c'est-à-dire entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ degré; accidentellement on trouve

des pentes de $0^m,010$ à $0^m,012$. Aux mines de Lens, la pente réglementaire est de $0^m,006$; aux mines de Liévin, elle est de $0^m,0075$.

La Compagnie des houillères de Saint-Étienne a adopté la pente réglementaire de $0^m,008$; mais la pente *effective* est, en réalité, comprise entre $0^m,008$ et $0^m,010$, les ouvriers ayant une tendance à toujours dépasser la limite fixée.

Charge que peuvent traîner les chevaux sur les petits chemins de service et dans les mines. — On a reconnu, qu'en travail régulier, un bon cheval traînant au pas des wagonnets sur une voie ferrée peut exercer, d'une manière continue, un effort moyen de 70 kilogrammes.

On peut admettre ce chiffre de 70 kilogrammes lorsqu'il s'agit d'un roulage établi dans des galeries spacieuses, dans des bowettes, par exemple, ou dans des voies de fond élevées et très bien entretenues où circulent des chevaux de forte taille.

Quand il s'agit de chevaux de force moyenne et de plus petite taille circulant dans des galeries moins élevées, il convient de ne compter que sur un effort de 65 et même de 60 kilogrammes.

D'après ce qui a été établi (n° 15), connaissant l'effort continu qu'il convient d'imposer à un cheval et le coefficient de frottement d'un système de berlines, il devient facile de déterminer le nombre n de berlines dont on devra composer les trains sur la pente d'égale résistance ou sur la pente d'équilibre.

Dans le premier cas, on a pour l'effort à la remonte :

$$R = n\,(P + p)\,\frac{3F}{2},$$

d'où

$$n = \frac{2R}{3F\,(P + p)}.$$

Dans le deuxième cas, l'effort à la remonte est :

$$R = n\,(P + p) \times 2F,$$

d'où

$$n = \frac{R}{2F\,(P + p)}.$$

Applications :

Soit

$$R = 65 \text{ kil.},$$
$$F = \frac{1}{80} = 0{,}0125,$$
$$P + p = 190 \text{ kil.}$$

Dans le cas de la pente d'égale résistance qui est de $0^m{,}0062$ par mètre, on aura :

$$n = \frac{2 \times 65}{3 \times 0{,}0125 \times 190} = 18 \text{ berlines.}$$

Ce résultat n'a rien d'exagéré; à Lens, on organise des trains de 18 berlines dans des galeries inclinées de $0^m{,}006$.

Soit encore :

$$R = 65 \text{ kil.},$$
$$F = \frac{1}{60} = 0{,}0166,$$
$$P + p = 190 \text{ kil.}$$

Dans le cas de la pente d'équilibre qui est égale au coefficient de frottement, on aura :

$$n = \frac{65}{2 \times 0{,}0166 \times 190} = 10 \text{ berlines.}$$

C'est le cas de quelques mines du Pas-de-Calais, qui ont adopté des pentes trop fortes pour les galeries de roulage.

CONSTRUCTION DE CHEMINS DE FER

POUR L'ARMÉE RUSSE, EN 1877-78

PAR M. F. LESSAR

Ingénieur attaché au service des communications militaires

OUVRAGE TRADUIT DU RUSSE, PAR M. L. AVRIL.

ANALYSE

PAR M. A. RUBIN.

La nécessité, en temps de guerre, de pouvoir construire très rapidement un chemin de fer est indiscutable aujourd'hui. Ce qui a *été fait*, au point de vue de la rapidité d'exécution, avant 1877, n'est rien en comparaison de ce que les Russes ont exécuté pendant leur dernière guerre contre les Turcs. En 100 jours, dont 58 de travail effectif, les Russes ont construit un chemin de fer de 304 kilom., celui de Bender à Galatz. Ils remuèrent, là, 48 millions de mètres cubes de terre, firent 2,342 mètres de ponts, 1804 mètres d'aqueducs, transportèrent 41,000 tonnes de matériel, et posèrent 320 kilomètres de voie ballastée. Une autre ligne, celle de Fratesti, à Zimnitza, longue de 88 kilomètres, fut construite par les Russes en 50 jours, malgré la mauvaise saison.

Nous allons suivre M. Lessar dans la description de ce qui fut fait pour réaliser de tels tours de force.

1° *Chemin de Bender à Galatz* B. G. Ce chemin devint indispensable par suite de l'insuffisance, à tous les points de vue, de celui, Roumain, de Roman Barbosch à Galatz. M. de Poliakoff, un des plus grands entrepreneurs du monde, fut chargé de la construction de la ligne B. G. Ce fut aussi lui qui fit, plus tard, la ligne Fratesti-Zimnitza.

Le chemin B. G. devant rester, après la guerre, comme ligne défini-

tive, commerciale, reliant Odessa au bas Danube, il fallut le construire avec un soin particulier. Un cahier des charges minutieux, sévère, fut imposé. Les courbes minima devaient avoir 320 mètres, les rampes maxima 18 millimètres; les rails, en fer, ne pas peser moins de 32 kilog. le mètre, ceux d'acier, moins de 26 kilog.

Pendant que l'affaire se négociait, M. de Poliakoff faisait étudier le tracé, commencer certains travaux, réunir le personnel et le matériel des terrassiers. On acheta les terrains dès que cela fut possible, et il fallut payer jusqu'à 4 francs le mètre, pour passer par-dessus les difficultés de l'expropriation.

On avait calculé que les *terrassements* à faire amèneraient à remuer 73,000 mètres cubes par jour, ce qui, vu le peu de force physique et le manque d'habitude des ouvriers du pays, supposait un personnel de 15,000 terrassiers, 300 chefs d'équipe et l'emploi de 5,500 chariots. On avait embauché tout d'abord 9,000 ouvriers et *ouvrières*, et réuni 4,000 chariots; ces forces avaient été mises à la disposition d'un certain nombre de sous-traitants. Une réserve de 4,000 terrassiers, avec un approvisionnement considérable d'outils, fut préparée en même temps. En vue de l'exécution ultérieure des travaux d'art, on fit venir 50 charpentiers russes, lesquels sont particulièrement habiles. Les traverses furent commandées au dehors, avec un excédent d'un tiers pour parer aux non-livraisons.

Les travaux furent partagés en deux divisions, l'une comprise dans la partie russe, l'autre dans la partie roumaine. Chacune des deux divisions comprenait naturellement des sous-divisions, d'environ 45 kilomètres, et des sections, d'environ 12 à 20 kilomètres. Les sous-traitants avaient des lots de 6 à 10 kilomètres; plus, aurait été au-dessus de leurs forces, moins, aurait amené du désordre.

On a remarqué qu'il y avait eu inconvénient à pousser les travaux faciles au détriment des travaux difficiles.

Le travail marchait jour et nuit. On s'éclairait avec des lanternes et même à la lueur de bûchers de traverses. Au fur et à mesure qu'un entrepreneur avait fini sa tâche, on l'employait sur les points les plus en retard.

Le 7 novembre 1877, la ligne fut ouverte. On remit à la fin de l'hiver la consolidation des talus; ces travaux, d'ailleurs peu importants, n'étant indispensables que pour l'époque des crues, c'est-à-dire le printemps. On fit, à cette époque, des gazonnements, des empierre

ments, et, dans les vallées, des clayonnages en tresses d'osier recouvertes de roseaux et maintenues par des pierres.

Les *travaux d'art* se firent dans des conditions relativement meilleures que les terrassements, les bois ne manquant pas et une très grande scierie à vapeur se trouvant à Galatz.

En Roumanie, à l'exception des pieux, tous les bois étaient équarris; en Russie, ronds. On faisait travailler le sapin, à la flexion, à 60 kil. par centimètre carré; à la traction, à 95 kil.; à la compression, à 45 kil. Les pieux étaient battus au refus de 2 centimètres d'enfoncement, pour 25 coups d'un mouton de 150 kil.

Parmi les *ponts*, celui sur le Pruth est le plus considérable; il a 112 mètres de long, est biais, courbe à une extrémité, et a une travée de navigation. Cette travée est composée de fermes américaines lesquelles, peuvent être enlevées d'un bloc, — quand les eaux sont trop hautes pour le passage des bateaux, — au moyen de barques spéciales accouplées. Ces barques portent deux réservoirs superposés, celui d'en haut étant au-dessus de la flottaison. Le réservoir supérieur a été rempli préalablement d'eau pompée à la main dans le réservoir inférieur. Les barques étant amenées sous la travée mobile et venant appuyer dessous au moyen d'une charpente spéciale qu'elles portent, il suffira de vider le réservoir supérieur pour pouvoir, en quelques minutes, soulever la travée et l'emmener au bord du fleuve. Pour remettre la travée en place, il suffira de remplir le réservoir inférieur, placé audessous de la flottaison.

La construction des *annexes* du chemin B. G., — stations, casernes, guérites, maisons de gardes, bâtiments d'alimentation et dépôts, — fut menée parallèlement aux travaux de terrassement et d'art. Elle fut faite avec des matériaux pris sur place, souvent du bois, quelquefois du fer. Les fermes de certains dépôts sont en rails courbés.

La disposition des gares est fort rationnelle, et le style des bâtiments, élégant. Les nombreuses planches jointes à l'ouvrage de M. Lessar permettent de vérifier notre appréciation.

La *superstructure* du chemin B. G. ne fut faite qu'avec beaucoup de peine, à cause des difficultés de transport. Les rails arrivaient par chemin de fer de toutes les usines du continent où l'on avait pu en trouver d'immédiatement disponibles, de quelque type qu'ils fussent, pourvu qu'ils fussent d'un poids supérieur aux minima imposés. Ils ne pouvaient arriver par mer, la mer Noire étant bloquée. Pour les tra-

verses, amenées presque toutes sur chariot, il fallut, en Roumanie, payer jusqu'à 30 francs la journée de chariot. La question de prix fut naturellement secondaire dans ces travaux; des réservoirs ont été amenés, en grande vitesse, de Saint-Pétersbourg.

Du 7 novembre 1877 au 7 novembre 1878, le chemin B. G., construit dans de telles conditions, a transporté 70,347 soldats, 38,300 malades, 23,000 voituriers et gens étrangers à l'armée, 138,000 tonnes, environ, de marchandises. On ne peut mieux démontrer la raison d'être des efforts surhumains, qui ont été faits pour l'exécution si merveilleusement rapide de cette ligne, qu'en citant ces services rendus par elle.

La nécessité de la construction rapide d'un chemin de fer de *Fratesti à Zimnitza*, F. Z., s'imposa dès qu'il fut constaté que la guerre devait durer au delà de l'hiver.

La construction de la ligne F. Z. ne comporta pas les difficultés de celle de B. G., toutefois, la mauvaise saison et la difficulté des transports retarda beaucoup les travaux. Il y eut, comme *terrassement* important, à élever un remblai d'environ 100,000 mètres cubes dans une partie submergée; mais, le manque d'ouvriers et l'insuffisance du matériel força à ne faire provisoirement qu'un remblai moindre, coupé par des ponts ou des estacades. Ces *travaux d'art* ne présentaient rien d'exceptionnel. Quant à la *superstructure*, elle fut très retardée, et retarda tout, par ce fait que, vu l'état défectueux et l'encombrement des routes, rien ne pouvait arriver que par rails. On n'avait donc qu'un point d'attaque, et tout partait de Fratesti et n'arrivait à Fratesti qu'avec peine, vu le désordre excessif qui existait sur les chemins roumains.

Nous ne parlerons pas ici des *travaux accessoires*, dont fut chargé M. de Poliakoff en Roumanie et en Bulgarie, travaux auxquels M. Lessar consacre quelques pages du livre que nous analysons. Nous nous contenterons de mentionner les principaux : 1° adaptation à des ambulances d'une partie des bâtiments de l'Exposition de Wien ; 2° installation, sur le Danube, du bac à vapeur que M. Hartwich avait créé autrefois sur le Rhin, à Rheinhausen; 3° montage de cinq bateaux à vapeur achetés à la maison Jolly, d'Argenteuil.

Le livre de M. Lessar a été complété par M. L. Avril, lequel a donné deux notes utiles à consulter, l'une sur les chemins roumains, l'autre sur le matériel roulant employé sur les lignes nouvelles B. G. et F. Z. Nous ne parlerons que de la dernière.

Il fallait, pour ces lignes, trouver *de suite*, 110 locomotives et 2,000 wagons; on dut donc prendre tout ce que l'on put trouver de disponible dans les ateliers du continent, et ce qui pouvait être mis rapidement à l'écartement russe. Ce matériel était naturellement très divers, et de qualités très variables. Il n'y a lieu de citer, à propos des locomotives, que la machine de Fox Walker, laquelle était munie d'un treuil pour le halage des trains sur les fortes rampes, que la machine gravissait d'abord seule.

Tel est l'ouvrage de M. Lessar, ouvrage que nous venons d'avoir le plaisir d'analyser; il contient bien des notions utiles. On doit remercier M. L. Avril, de l'avoir porté à la connaissance du nombreux public qui ne connaît pas le russe, mais qui sait le français. La seule critique à adresser à M. L. Avril, c'est d'avoir conservé les mesures russes dans le texte, et de n'avoir même pas donné des échelles métriques sur les planches.

Les travaux dont nous venons d'indiquer les points les plus intéressants, font le plus grand honneur aux ingénieurs qui les ont conçus et conduits. M. L. Avril y a eu sa part. Ils font aussi le plus grand honneur à l'entrepreneur général, M. de Poliakoff, lequel a osé se charger d'œuvres sans précédents, et dans des conditions particulièrement difficiles. Il a fait là, en même temps, un acte patriotique, car si les choses avaient mal tourné pour son pays, sa fortune aurait peut-être été plus que compromise.

COMPTE RENDU

DE L'OUVRAGE DE MM. G. CERBELAUD ET G. DUMONT

INTITULÉ

LE GÉNIE CIVIL ET LES TRAVAUX PUBLICS

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

PAR GEORGES CERBELAUD ET GEORGES DUMONT

SOUS LA DIRECTION D'ÉDOUARD CAHEN

PAR M. **JULES GAUDRY.**

Cet ouvrage, consacré à faire ressortir le mérite de nos industries françaises au dernier concours universel, débute par une introduction de M. Cahen, qui constate des faits pénibles qu'on ne saurait trop publier. C'est que si nos industries françaises n'ont jamais été plus perfectionnées et sont parfois sans égales, d'autre part, nos exportations diminuent d'année en année dans des proportions considérables, tandis que les importations étrangères augmentent, non seulement pour les matières premières, ce qui n'est pas toujours un mal puisqu'elles sont l'aliment de la main-d'œuvre française, mais aussi pour les objets fabriqués qu'on ne saurait trop exporter, et souvent dans les industries qui étaient les spécialités nationales.

Je ne puis suivre M. Cahen dans ses tristes statistiques et dans les moyens de sauver une situation si fâcheuse pour l'avenir du pays; mais il était de mon devoir de signaler avec lui à la Société des Ingénieurs, qui compte tant de chefs d'industries, un danger commandant tout leur patriotisme.

L'ouvrage analysé décrit ensuite les palais du Champ de Mars et du

Trocadéro, ainsi que leurs services techniques, puis les expositions des Ministères et de la Ville de Paris.

Nos colonies si oubliées du public, le sont un peu aussi par les auteurs de la publication du génie civil à l'Exposition; mais ils s'étendent du moins avec grand intérêt sur la principale. Je veux dire sur l'Algérie, dont la colonisation, longtemps si tourmentée par les fluctuations de systèmes, a fait depuis deux ans, de grands progrès; néanmoins l'élément français est bien réduit dans ce magnifique pays trop peu connu. On n'exploite encore qu'une faible partie de ses merveilleuses richesses métallurgiques et agricoles, qui passent souvent aux Espagnols et aux Anglais, presque sans profit pour la France. Les cuivres vont à Swansea et en reviennent sur nos marchés; les alfas vont en Amérique vià Liverpool. La main-d'œuvre et la direction sérieuse font défaut, ainsi que les voies de transport et les ressources d'exploitation courante; mais dans deux ans seront terminés les aménagements des mines, les assainissements, les routes, voies ferrées et ports actuellement en cours d'exécution par la Société de Fives-Lille et autres.

Dans huit mois, de nouveaux services maritimes les plus perfectionnés s'ajouteront à ceux qui existent, et le moment sera venu de porter vers la magnifique colonie si enviée et si voisine de nous, la précieuse somme d'intelligence et les capitaux qui ne trouvent plus d'emploi dans la mère patrie; puis viendront sans doute les autres colonies plus lointaines qui offrent aussi des ressources si grandes et si ignorées.

L'ouvrage analysé arrivant aux mines et usines de la Métropole consacre de grands développements aux principales, et aux récents perfectionnements de leur outillage. Il décrit les machines d'extraction et d'épuisement de Quillacq, Farcot, Fives et autres qui ont été au nombre des bijoux de l'Exposition, les outils-machines non moins remarqués de Varrall, Bouhey, Pihet, Chaligny-Calla, etc.; les établissements du Creuzot, actuellement les plus grands du monde; ceux des groupes de Terre-Noire, de Châtillon-Commentry, de la Loire, les usines pour l'acier, le cuivre, le plomb, le zinc, le nickel, qui nous permettent de n'être plus tributaires de l'étranger. Enfin, les ateliers Claparède et ceux de la Société des forges et chantiers, la presque unique grande entreprise de constructions maritimes qui nous reste et à qui l'étranger a fait tant de commandes réussies.

Des chapitres spéciaux sont consacrés à la marine de guerre, qui a des types récents si curieux, et à la marine commerciale dont les puissantes compagnies et les flottes magnifiques sont bien connues de la Société.

Les chemins de fer et leurs locomotives ont été l'une des industries les mieux représentées de l'Exposition dans la section française ; un chapitre étendu leur est également consacré et traite des nouveaux freins continus, des appareils de chauffage et d'éclairage appliqués maintenant à tous les wagons, et dont on ne retrouve en aucun pays tant de perfectionnements.

Les travaux publics et les industries qui s'y rattachent sont la spécialité principale des auteurs de la publication. L'un d'eux s'est déjà fait un nom par lui-même et par sa parenté dans le service hydraulique des villes et des irrigations. Ils ont donc traité particulièrement leur sujet en maîtres en y ajoutant les œuvres métalliques d'Eiffel, Joly, Seyrig, Baudet, Donon, Pombla, etc. ; les travaux du Danube, de Marseille, d'Anvers, Calais, Saint-Nazaire, Montbéliard et Montmartre.

Un septième et dernier chapitre, embrasse les industries diverses du gaz, de l'électricité, du caoutchouc, la céramique et enfin la serrurerie d'art où l'Autriche, l'Espagne et la Suisse nous ont montré de si magnifiques modèles propres à exciter notre émulation.

Sur toutes ces matières, l'ouvrage de MM. Cerbelaud et Dumont est presque un traité précis, quoique incomplet, qui mérite toutes les félicitations de la Société des Ingénieurs.

PARIS. — IMP. E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1879)

N° 56

Pendant ces deux mois, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Docks et Entrepôts de la ville de Marseille*, par M. Barret (séances des 7 et 21 novembre et 5 décembre, pages 1027, 1065 et 1069).

2° *Voies de tramways* à l'Exposition universelle, par M. Ivan Flachat (séance du 7 novembre, page 1037).

3° *Aménagement et utilisation des eaux*, par M. Cotard (séances des 7 et 21 novembre, pages 1040 et 1066).

4° *Bassins de radoub à Toulon*, par M. Hersent (séance du 21 novembre, page 1066).

5° *Route et canal du Sénégal au Niger*, par M. Soleillet (séance du 21 novembre, page 1069).

6° *Chemin de fer sur route de la ligne de Ribeauvillé*, par M Faliès (séance du 5 décembre, page 1070).

7° *Logements collectifs*, par M. Tollet (séance du 5 décembre, page 1072).

8° *Montures équatoriales destinées à de grands instruments astronomiques* (*lunettes et télescopes*) *portant l'observateur*, par M. Jaubert (séance du 5 décembre, page 1075).

9° *Exposé de la situation financière de la Société*, par M. le Trésorier (séance du 19 décembre, page 1080).

10° *Élections des membres du Bureau et du Comité* (séance du 19 décembre, page 1082).

Pendant ces deux mois, la Société a reçu :

De M. Cavalerie, ingénieur, un exemplaire de sa note sur un *Moteur ou nouveau système de locomotion hydro-atmosphérique à piston Coin.*

De M. Bömches, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur l'Exposition du Ministère des travaux publics de France au Champ de Mars.

De M. Moschell, ingénieur, un exemplaire de la note sur la *meilleure largeur à adopter pour les chemins de fer à voie étroite.*

De M. Jules Gaudry, l'analyse de l'ouvrage de MM. Cerbelaud et Dumond, intitulé *le Génie civil et les Travaux publics à l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de son étude sur la *stabilité de la coupole projetée par Bramanié pour la basilique de Saint-Pierre de Rome.*

De M. Hallauer, ingénieur, un exemplaire de son mémoire sur les *Moteurs à vapeurs, étude expérimentale comparée sur les moteurs à un et à deux cylindres, influence de la détente.*

De M. Barrault, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Les Inventeurs et les lois pour les patentes d'invention dans la Grande-Bretagne.*

De M. Ch. Laboulaye, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Économie des machines et des manufactures.*

De M. Armengaud jeune, membre de la Société, un exemplaire de son *Supplément au guide manuel de l'inventeur et du fabricant*, contenant les lois nouvelles en Allemagne, en Espagne et aux États-Unis.

De M. Pontzen, membre de la Société, et de M. Lavoinne, ingénieur en chef des ponts et chaussées, un exemplaire de leur ouvrage intitulé : *Les Chemins de fer en Amérique*, texte et atlas (tome Ier).

De M. Charles Dudley, un exemplaire de sa brochure intitulée : *The Chemical composition and physical properties of steel rails.*

De MM. Durand Bossin et Brard, un tableau d'échantillons de *Tubes sans soudures de leur fabrication.*

De M. Ludwig Merth, ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Tablellen zur Berechnung der querschnittsflächen der auf-und abtrage von variablen Planiebreiten für Strassen-und Eisenbahn-körper.*

De M. Gustave de Pury, membre de la Société, un exemplaire de son *Discours d'ouverture à l'assemblée générale de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes.*

De l'Institution of Mechanical Engineers, un exemplaire d'un rapport du comité chargé d'étudier et de faire des expériences sur les *Tôles rivées.*

De M. Lencauchez, membre de la Société, une note sur la *Déphosphoration de la fonte du fer et de l'acier.*

De M. Léon Malo, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur l'*État actuel de l'industrie de l'asphalte.*

De M. Delesse, inspecteur général des Mines, un exemplaire d'une note sur l'*Explosion d'acide carbonique dans une mine de houille.*

De M. Henri Fayol, membre de la Société, un exemplaire de son étude sur l'*Altération et la Combustion spontanée de la houille exposée à l'air.*

De M. Meyer J., ingénieur en chef de la construction des chemins de fer de la Suisse occidentale, un exemplaire de son mémoire sur les *Chemins de fer de la Suisse occidentale au point de vue spécial de la construction.*

De M. Leger Alfred, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur le *Service des eaux à Lugdunum et à Lyon.*

De M. Casalonga, membre de la Société, un exemplaire de ses réponses aux questions posées au programme du *Congrès international de la propriété industrielle.*

De M. Jullin, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur la *Grille Desgouttes.*

De M. de Coëne, membre de la Société, un exemplaire du rapport de la commission des *Accidents du travail.*

De M. Félix Loisel, ingénieur, des exemplaires de sa notice sur la *Réforme des tarifs* de chemins de fer.

De M. Coulanghon, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Tramways de leur construction dans ses rapports avec l'exploitation.*

De M. Zschokke, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur les *Fondations à l'air comprimé.*

De M. de Comberousse, membre de la Société, un exemplaire de son discours prononcé au cinquantième anniversaire de la fondation de l'École Centrale.

De M. Benoit René, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur son *Régulateur de température.*

De M. Tollet, ingénieur, un exemplaire de son ouvrage sur les *Logements collectifs.*

De M. Jaubert, membre de la Société, un mémoire sur *les Montures équatoriales destinées à de grands instruments astronomiques* (*lunettes et télescopes*) *portant l'observateur.*

De M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1878, un exemplaire des six volumes nos 4, 6, 14, 15, 24 et 27 des *Comptes rendus des Congrès* et deux volumes des *Conférences de l'Exposition universelle.*

Académie royale des Lincei, son bulletin.

Academia di Scienze, Lettere ed Arti, son bulletin.

Academy american of arts and sciences, son bulletin.

Aéronaute (L'), bulletin international de la navigation aérienne.

Annales industrielles, par Cassagne.

Annales des ponts et chaussées.

Annales des mines.

Annales du Génie civil.

Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.

Annales de la construction (Nouvelles), par Oppermann.

Annales des chemins vicinaux.

Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, son bulletin.

Association des anciens élèves de l'École de Liége, son bulletin.

Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand, son bulletin.

Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, son bulletin.

Association des Ingénieurs industriels de Barcelone, son bulletin.

Atti del Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze, son bulletin.

Bulletin officiel de la Marine.

Canadian Journal of science, litterature, and history.

Chronique (La) *industrielle*, Journal technologique hebdomadaire.

Comité des forges de France, son bulletin.

Comptes rendus de l'Académie des sciences.

Courrier municipal (Journal).

Dingler's Polytechnisches (Journal).

Écho Industriel (Journal).

Économiste (*L'*) (Journal).

Encyclopédie d'architecture.

Engineer (*The*) (Journal).

Engineering (Journal).

Engineering News an Illustrated Weekly (Journal) (de Chicago).

Gazette des Architectes (*La*).

Gazette du Village (*La*).

Institution of civil Engineers, leurs *Minutes of Proceedings.*

Institution of Mechanical Engineers, son bulletin.

Institution of Mining Engineers americans, leurs *Transactions.*

Iron of science, metals et manufacture (Journal).

Iron and Steel Institute (*The Journal of the*).

Journal d'Agriculture pratique.

Journal of the Society of Arts.

Journal des Chemins de fer.

Journal of the Franklin Institute Beroted To science and the Mechanic arts.

Houille (La) (Journal).

Magyar Mémök-Egyesület Közlonye, leur bulletin.

Musée Royal de l'industrie de Belgique, son bulletin.

Mondes (Les) (Revue).

Moniteur des chemins de fer (Journal).

Moniteur industriel belge (Journal).

Moniteur des fils, des tissus, des apprêts et de la teinture (Journal).

Moniteur des travaux publics (Journal).

Of the American Society of Civils Engineers (Journal).

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Journal).

Politecnico (Il) Giornale dell' ingegnere Architetto civile ed industriale.

• *Portefeuille économique des machines*, par Oppermann.

Proceedings of the american Academy of arts and sciences, leur bulletin.

Propagateur (Le) de l'Industrie et des Inventions (Journal).

Réforme économique (Revue).

Revue métallurgique (La) (Journal).

Revue des chemins de fer et des progrès industriels.

Revue maritime et coloniale.

Revue d'architecture.

Revista de obras publicas.

Revue des Deux-Mondes.

Revue horticole.

Revue générale des chemins de fer.

Revue technique polonaise.

Revue universelle des mines et de la métallurgie.

Revue des Industries chimiques et agricoles.

Semaine des constructeurs (La) (Journal).

Semaine financière (Journal).

Société de Physique, son bulletin.

Society of telegraph Engineers (Journal of the), leur bulletin.

Société des Ingénieurs anglais, leurs *Transactions*.

Société industrielle de Reims, son bulletin.

Société des Architectes des Alpes-Maritimes, son bulletin.

Société industrielle de Mulhouse, son bulletin.

Société des Ingénieurs civils d'Écosse, son bulletin.

Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, son bulletin.

Société d'encouragement, son bulletin.

Société de géographie, son bulletin.

Société nationale et centrale d'agriculture, son bulletin.

Société des Ingénieurs portugais, son bulletin.

Société nationale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, son bulletin.

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, son bulletin.

Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, son bulletin.

Société scientifique industrielle de Marseille, son bulletin.

Société des Architectes et Ingénieurs du Hanovre, son bulletin.

Société royale des Sciences de Bohême (à Prague), son bulletin.

Société des Arts d'Edimburgh, son bulletin.

Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube, son bulletin.

Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens, Revue périodique.

Société industrielle de Rouen, son bulletin.

Société technique de l'Industrie du gaz en France, son bulletin.

Société des Études coloniales et maritimes, son bulletin.

Société de géographie commerciale de Bordeaux, son bulletin.

Société de géographie de Marseille, son bulletin.

Sucrerie indigène (*La*), par M. Tardieu.

The Franklin Institute (Journal).

Union des charbonnages, mines et usines métallurgiques de la province de Liége, son bulletin.

Union des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de l'Université catholique de Louvain, son bulletin.

Les Membres nouvellement admis sont :

Au mois de novembre :

MM. Abernethy, présenté par MM. Chapman, Farcot et Tresca.
Barlow, présenté par MM. Chapman, Farcot et Tresca.
Brunlees, présenté par MM. Bergeron, Lavalley et Tresca.
Combes, présenté par MM. Armengaud jeune, Brüll et Tresca.
Biebert, présenté par MM. Barrault, Demimuid et Périssé.
Bezy, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Belin, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Herscher, présenté par MM. Bourdais, Ermel et Herscher.
Maroquin, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Pirot, présenté par MM. Lecherf, Masure et Zimmer.
Sabon, présenté par MM. Chaligny, Fellot et Guyot-Sionnet.
Stevenson, présenté par MM. Farcot, Lavalley et Tresca.
Tweddell, présenté par MM. Chapman, Cornuault et Farcot.
Woods, présenté par MM. Chapman, Farcot et Tresca.

Au mois de décembre :

MM. Dollfus, présenté par MM. Gauthier, Guéroult et Urbain.
Garay (de), présenté par MM. Cotard, Lavalley et Molinos.
Séguin, présenté par MM. Dupuis, Hallopeau et Rubin.

RÉSUMÉ
DES
PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
DU
VIe BULLETIN DE L'ANNÉE 1879

Séance du 7 Novembre 1879.

PRÉSIDENCE DE M. GOTTSCHALK, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 octobre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Coutin, membre associé.

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société que M. Nordling vient de donner sa démission de directeur général des chemins de fer de l'Empire d'Autriche, et que Sa Majesté l'Empereur d'Autriche, en l'admettant à faire valoir ses droits à la retraite, lui a conféré les insignes de Grand-Officier de l'Ordre de François-Joseph.

Il est donné lecture de la note suivante adressée par M. Barret, ingénieur des Docks et Entrepôts de Marseille.

Lecteur assidu des comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils de France, j'ai parcouru tout récemment la communication sommaire que M. Duteil a faite, dans la séance du 3 octobre, au sujet de l'outillage des ports et des Docks et Entrepôts de Marseille.

L'avis émis par l'auteur, en terminant son exposé, que cet outillage était dans une situation très perfectible, a motivé, dans le cours de la discussion, de la part de quelques membres, des remarques et observations auxquelles M. Duteil n'a pas répondu. J'ai donc pensé, que la Société serait bien aise d'avoir quelques éclaircissements exacts sur les remarques et les questions qui n'ont pas été élucidées.

Je dois dire tout d'abord, pour répondre à M. Quéruel, que les études de cet outillage ont été dressées, à la demande de M. Paulin Talabot, directeur général des chemins de fer de Paris, Lyon et à la Méditerranée, par

l'éminent ingénieur anglais, qui peut être considéré à juste titre comme le créateur des appareils mus par l'eau sous pression, le célèbre sir William Armstrong, et que la construction a été exécutée par le grand établissement français des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

Dans la critique aisée que M. Quéruel a faite des appareils de levage de notre port au point de vue de l'économie et du mode de construction adopté, il fait ressortir que les presses travaillant en poussée dans l'intérieur d'un palan, les efforts sont de nature instable et tendent au renversement du piston sur le corps de la presse, ce qui fait que les pistons sont ainsi sujets à se coincer. Il en conclut que le fonctionnement est irrationnel et que le genre de piston travaillant à la traction conviendrait mieux. Or, je dois dire, que ces faits ne sont pas exacts; la pratique et l'expérience, nous ont démontré que les appareils de levage travaillant à la compression dans l'intérieur d'un palan, ne tendent nullement au renversement du piston sur le corps de la presse, et encore moins à le coincer. Les pistons sont aussi bien guidés dans leur mouvement, que les têtes des tiges des pistons des machines à vapeur ordinaires, et la meilleure preuve qu'on puisse en donner, c'est que, les appareils des Docks de Marseille, qui fonctionnent depuis près de dix-huit ans, sont en aussi bon état aujourd'hui que lors de leur mise en service; les seules pièces que l'on a eu à remplacer pour cause d'usure pendant cette longue période, sont les chaînes et les garnitures des presse-étoupes.

Il est donc certain que ces engins ont été parfaitement étudiés, bien exécutés et surtout convenablement appropriés au genre de travail qu'ils ont à effectuer.

Quant aux presses funiculaires, préconisées par M. Quéruel, presses agissant par traction et en dehors du palan, les applications qui en ont été faites dans quelques cas particuliers, tant en Angleterre qu'à Marseille, ont démontré que ces engins étaient plus encombrants et plus compliqués que les presses logées à l'intérieur du palan et agissant par compression; ils occupent en effet plus de place et comportent en plus une garniture pour le piston.

M. Quéruel fait également remarquer que parmi les nombreux appareils de levage de notre port, il n'y en a aucun qui possède la variété de puissance sous pression unique que commande cet ordre d'emploi; qu'une grue de trois tonnes dépense constamment la puissance totale, qu'elle marche à vide, à demi-charge ou à charge complète. Cet ingénieur ajoute qu'il comprend très bien qu'au début des applications hydrauliques, cette question ait été négligée, mais qu'il ne s'explique pas, que depuis quinze années que l'installation du port est en service, on n'ait pas apporté à celle-ci les perfectionnements qu'il signale.

Cette objection est mal fondée, car bon nombre de nos appareils, ceux pour lesquels le service l'a exigé, ont été établis dès le début, par Armstrong lui-même, à *double pouvoir;* en d'autres termes, lorsqu'ils soulèvent soit une tonne, soit trois tonnes, ils ne dépensent pour chaque cas qu'une

quantité de travail proportionnelle à la charge élevée. On a même été plus loin, car on a établi des engins à trois puissances avec une pression unique, qui fonctionnent aussi bien que les appareils à simple pouvoir; la seule différence consiste en ce que ces engins se composent d'un plus grand nombre d'organes et comportent des garnitures intérieures qui, pour être remplacées, exigent le démontage des pièces principales, ce qui est toujours assez long et arrête pendant un certain temps les opérations.

La condition la plus importante que doivent réaliser les engins destinés à manœuvrer l'outillage des ports (ponts mobiles, portes busquées, grues de transbordement, cabestans, plaques tournantes, etc.) consiste en ce qu'ils soient toujours prêts à fonctionner. Leur mode de construction doit être le plus simple possible et combiné de telle sorte qu'une avarie survenant à l'un des organes ou une fuite d'eau, puisse être réparée dans l'heure qui suit l'accident. Il faut surtout que toutes les garnitures étanches soient très accessibles et qu'il soit possible de les changer sans avoir à démonter les pièces principales de l'appareil.

Imaginons, par exemple, des appareils hydrauliques destinés à mouvoir, soit un pont tournant placé sur une passe d'un port important, soit les portes busquées d'une écluse maritime où la circulation des bâtiments est très active. Supposons de plus, pour nous placer dans les vues émises lors de la discussion des appareils de notre port, que les engins de manœuvre du pont ou des portes busquées aient été établis pour développer trois puissances successives avec une pression unique, afin que lorsqu'on manœuvrera les ouvrages précités par temps calme, par vents ordinaires et par forts vents, on ne dépense dans chaque cas qu'un travail proportionnel à la résistance à vaincre. Ces appareils, comme nous l'avons dit plus haut, seront très compliqués et comporteront des garnitures intérieures, et lorsqu'il faudra remplacer ces dernières on sera obligé de démonter les pièces principales, dont le poids peut atteindre 10, 15 et 20 tonnes. Il faudrait ainsi arrêter le mouvement de la navigation pendant un temps plus ou moins long. (Nous pourrions citer des exemples pour lesquels ces interruptions ont duré plus de trois jours.) Le commerce perdrait donc, dans ce court intervalle, des sommes énormes comparées aux bénéfices que réaliserait l'appareil dans toute l'année.

Le même fait se présenterait pour les grues à trois puissances; il y a en effet des navires à vapeur, dont la dépense journalière dépasse notablement 3,000 francs. Or, il est bien certain, que si pour le fait des grues, on leur faisait perdre une journée à quai, il en résulterait pour les Docks des dommages autrement sérieux, que les économies que réaliseraient ces nouveaux engins.

A première vue, on s'exagère toujours la quantité de travail que nécessite l'enlèvement des marchandises de la cale des navires. Ainsi, le débarquement dans une journée de dix heures, de huit grands navires portant chacun 1,000 tonnes, en supposant l'élévation moyenne de la charge à 8 mètres, ne nécessiterait qu'une force utile de : $8000^{t} \times 8^{m} = 64.000^{tm}$,

soit de : $$\frac{64.000.000^{kgm}}{3600'' \times 75^{kgm}} = 23^{ch},50;$$

nous ajouterons $\frac{1}{5}$ environ de cette force pour la rotation des grues, ce qui porte le travail utile total à $28^{ch},20$.

Le rapport entre le travail développé sur les pistons de la machine à vapeur et le travail utile de la charge élevée, en tenant compte du poids mort, étant dans nos grues de 35 pour 100 [1], on voit que la force de la machine sur les pistons serait égale à :

$$\frac{28^{ch},20 \times 100}{35} = 80 \text{ chevaux},$$

ce qui n'est pas exorbitant, surtout si l'on considère que M. Quéruel ne reculerait pas devant l'emploi d'une machine de *cent chevaux* pour débarquer dans une journée de dix heures, par le procédé de l'aspiration, *un seul navire* portant 1,000 tonnes de céréales; en d'autres termes, pour obtenir un travail utile *huit fois moindre* que celui que nous obtenons avec une machine de 20 pour 100 plus faible que la sienne.

M. Quéruel insiste en outre pour qu'on prenne note que l'appareil à deux puissances permet de descendre la charge maximum sous pression de demi-force, c'est-à-dire de récupérer la puissance pour l'utiliser ensuite au relevage du crochet à vide et mieux d'un fardeau correspondant à la demi-force. De la sorte, d'après lui, rien ne serait dépensé pour la descente et l'on pourrait éviter l'installation onéreuse et puérile des appareils de descente à frein.

Nous sommes encore sur ce point en désaccord complet avec M. Quéruel, attendu que les appareils développant plusieurs puissances sous une pression unique, ne peuvent être disposés en l'état pour récupérer le travail développé par la charge à la descente; leur arrangement a été établi de façon qu'ils ne dépensent, dans chaque cas, qu'un volume d'eau sous pression proportionnel au poids élevé; si l'on avait voulu leur faire récupérer le travail de la descente, il aurait fallu adjoindre à chacun d'eux un second engin semblable à un petit accumulateur, dans lequel on aurait fait passer l'eau d'évacuation du cylindre ascenseur, afin d'en disposer ensuite pour relever le crochet à vide. Mais quand même on admettrait que les ascenseurs comportent des récupérateurs, les descenderies à frein, que M. Quéruel trouve tout à fait puériles, n'en seraient pas moins indispensables, attendu qu'on ne peut descendre les marchandises d'un entrepôt avec les mêmes appareils qui ont servi à les élever aux étages, par la raison toute simple que les opérations d'entrée et de sortie se font simultanément et non successivement.

Au début de l'exploitation des Docks, nous avions ajouté à une de nos descenderies un appareil funiculaire destiné à utiliser le travail de la des-

1. Les élévateurs à 8 brins de chaîne qui montent la charge de 1500 kilog. à 24 mètres de hauteur utilisent les 33 pour 100 du travail de la vapeur sur les pistons de la machine motrice. Pour nos grues, qui n'ont que 6 brins, l'utilisation s'élève à 35 pour 100.

cente, lequel comprimait de l'eau prise dans une bâche et la refoulait dans la conduite générale à la pression normale de 52 atmosphères. Malgré que cet appareil ait très bien fonctionné, nous ne l'avons pas adopté, parce qu'il n'y a qu'une très faible partie des marchandises débarquées qui entrent en magasin; par suite, l'intérêt du capital dépensé pour le premier établissement des engins transformés et les frais d'entretien, auraient absorbé les bénéfices résultant du travail récupéré.

Il arrivait aussi fréquemment, suivant la nature et la densité des marchandises, que la descenderie en question effectuait sa descente sous des charges qui n'étaient que la moitié ou le tiers de la charge normale et ne pouvait, par conséquent, restituer aucun travail.

Pour ce qui a trait à l'utilisation du travail de la descente de la charge dans les grues de quai, à simple ou à double pouvoir, dans le but de l'appliquer ensuite à la levée du crochet à vide dont la course, pour les opérations d'*embarquement*, est de 8 mètres en moyenne, il y aurait utilité à l'employer, si le tonnage des marchandises embarquées annuellement à l'aide de ces grues était très considérable. Or nous ferons remarquer que pendant le courant de l'année 1878 l'outillage hydraulique du port de Marseille n'a *embarqué* que 70,000 tonnes de marchandises, tandis qu'il en *débarquait* environ un million de tonnes. Dans l'opération du débarquement, la levée à vide du crochet est de bien peu d'amplitude, car elle est simplement égale à la différence de niveau entre la lisse du garde-corps des navires et le plan de la plate-forme ou des wagons sur lesquels on dépose la cargaison ; le travail de la descente des marchandises est ici presque insignifiant.

Dès les premières années d'exploitation de nos Docks, nous avons reconnu qu'il y aurait un très grand intérêt, pour le commerce maritime et pour nous, à ce que les grues de quai, au lieu d'être fixes, fussent mobiles. Nous pourrions en effet effectuer le même tonnage avec un nombre plus restreint de ces engins, et abréger les opérations en mettant une grue à chaque panneau. Mais nos grues fixes actuelles, qui devraient être mises de côté, nous ont coûté 800,000 francs; les grues mobiles qui les remplaceraient coûteraient, y compris voie de roulement et canalisation, 1,100,000 francs, ce qui porterait le capital affecté à ces appareils à 1,900,000 francs. En comprenant l'intérêt, l'amortissement et l'entretien, nous aurions ainsi annuellement une augmentation de frais de plus de 150,000 francs, qu'on ne pourrait certainement pas recouvrer par les économies réalisées par les grues mobiles. Nous ne pourrons donc faire la transformation en question que graduellement, par portions de quais, à mesure qu'il faudra remplacer tout au moins les charpentes de nos grues actuelles.

M. Quéruel fait remarquer que la disposition adoptée pour la machine motrice destinée à fournir l'eau nécessaire à l'alimentation des appareils hydrauliques, écarte toute possibilité de détente de la vapeur dans le cylindre, attendu qu'il faut toujours que l'un des deux cylindres, dont les pistons sont conjugués à 90 degrés, soit en prise pour le départ; et il demande s'il ne serait pas possible d'employer des machines économiques, à grande

détente, qui fonctionneraient d'une manière continue, et de faire varier le débit des pompes à l'aide de transmissions automatiques.

Cette combinaison est très facile à trouver, mais elle serait compliquée et peu pratique ; de plus, lorsque l'accumulateur qui commande la machine serait au haut de sa course et les engins de manutention momentanément arrêtés, le débit des pompes, si faible qu'il fût, serait expulsé à l'extérieur par la soupape de décharge, et l'on perdrait le travail emmagasiné dans cette eau. D'autre part, si l'on admet pour le même cas que le débrayage automatique en question arrête les pompes pendant que la machine continue à fonctionner, ce qui ne présente aucune difficulté, le travail développé par la machine pendant ce temps sera complètement perdu.

L'idée d'employer pour les ports et les grands établissements industriels qui se servent de l'eau sous pression, des machines à grande détente et à condensation, est très rationnelle, et nous l'aurions appliquée il y a déjà longtemps à Marseille, si ce n'eût été la perspective de mettre au rebut les machines existantes, qui ont coûté fort cher, et qui sont actuellement en parfait état.

Voici succinctement la solution que nous avions adoptée en prévision de cette transformation, solution qui ne présente aucun des inconvénients que nous venons de signaler. Comme on sait, les machines en question doivent accélérer leur marche ou la ralentir selon les besoins de la consommation d'eau ; de plus, elles doivent s'arrêter momentanément, au cas où les appareils cessent de fonctionner, et se remettre en marche d'elles-mêmes dès que la dépense d'eau recommence. Nos nouvelles machines seraient à haute pression, du système Compound, à deux cylindres, à grande détente et condensation. La vapeur venant des chaudières serait introduite exclusivement dans le petit cylindre et irait se détendre dans le grand. Le ralentissement, l'accélération et l'arrêt des pistons seraient commandés par l'accumulateur qui, dans son mouvement, agirait, comme cela se pratique dans les machines actuelles, sur la valve d'introduction de vapeur au petit cylindre.

Maintenant, pour nous mettre dans le cas le plus défavorable, supposons qu'on n'ait à sa disposition que de l'eau de mer, ce qui nécessite l'emploi d'un condenseur à surface et d'une pompe de circulation. Ceci établi, imaginons l'accumulateur au haut de la course, la valve d'introduction de vapeur fermée et la machine arrêtée. Si à ce moment il se produit une dépense d'eau dans la canalisation, l'accumulateur descendra, et ouvrira, par suite, la valve de prise de vapeur ; mais la machine ne se mettra probablement pas en marche, attendu que la vapeur n'est introduite que dans le petit cylindre, et qu'il peut très bien se faire qu'une partie du vide du condenseur ait disparu pendant l'arrêt. Dans cette situation, l'accumulateur continuera à descendre ; mais, arrivé aux trois quarts de sa course descendante, il ouvrira une nouvelle soupape qui, par l'intermédiaire d'un tuyau spécial, enverra la vapeur dans la boîte à tiroir du grand cylindre. La vapeur étant alors admise sous les deux pistons à la fois, la machine se remettra en marche absolument comme les nouvelles machines marines qui, au départ,

nécessitent l'introduction de la vapeur dans les deux cylindres en même temps.

Le mouvement étant établi, l'accumulateur se soulèvera, fermera en montant la soupape d'admission au grand cylindre, et la machine fonctionnera dans les conditions normales jusqu'à ce qu'un nouvel arrêt se produise[1].

Actuellement, le port et les Docks de Marseille possèdent, disséminés sur les quais et dans les magasins, environ soixante-dix appareils hydrauliques actionnés par l'eau sous pression, lesquels sont alimentés par une machine à vapeur à haute pression sans détente, de la force de cent vingt chevaux. Or, nous estimons que si l'on avait adapté à chaque engin de levage une petite machine à vapeur capable de leur faire soulever la charge aussi rapidement que le font les appareils actuels, la force de ces soixante-dix machines réunies dépasserait mille chevaux de soixante-quinze kilogrammètres ; tandis que, comme nous venons de le dire, par le système actuel, le même travail s'effectue avec une machine de cent vingt chevaux[2].

Malgré que ces appareils ne travaillent que par intermittence et qu'il y en ait même qui restent plusieurs jours sans fonctionner, il faudrait avoir les machines à vapeur constamment sous pression, attendu qu'à chaque moment de la journée il arrive soit des vapeurs, soit des mahonnes, pour transborder leur cargaison, ou bien des négociants qui apportent des marchandises en magasin, ou qui viennent en retirer. Il faut donc procéder à ces opérations au plus tôt et on serait certainement très mal reçu si l'on disait au commerce qu'on va allumer les chaudières et qu'on commencera dès qu'on sera sous vapeur.

D'après cet exposé, on voit clairement que, sans tenir compte des chances d'incendie que pourraient occasionner les chaudières des machines à vapeur, ni des sujétions que présenterait l'approvisionnement journalier

1. Les arrêts de la machine étant de courte durée, la pompe de circulation sera indépendante de la machine et fonctionnera d'une manière continue.

2. La vitesse des crochets des grues des quais et des ascenseurs des entrepôts atteint et dépasse parfois un mètre par seconde. Les grues d'une tonne ont à effectuer chacune, en moyenne, dans une journée de dix heures, jusqu'à 70 voyages de céréales à l'heure, avec une charge nette de 800 kilog.. On a ainsi un travail journalier de :

$$10^{h} \times 70 \times 800^{k} = 560^{t} \text{ de marchandises par grues et par dix heures de travail.}$$

Les élévateurs de notre grand entrepôt élèvent une charge de 1500 kilog. à 24 mètres de hauteur en 30 secondes, ce qui nécessite une puissance utile de

$$\frac{1500^{k} \times 24^{m}}{30'' \times 75^{kg}} = 16 \text{ chevaux.}$$

La puissance de chaque grue d'une tonne est :

$$\frac{1000^{k} \times 8^{m}}{1'' \times 75^{kg}} = 10^{ch},66 ;$$

et celle des grues de trois tonnes :

$$\frac{3000^{k} \times 8^{m}}{1'' \times 75^{kg}} = 31^{ch},99.$$

à pied d'œuvre des matières consommées (houille, eau douce, huile, suif, etc.), ce système serait beaucoup plus onéreux que les appareils hydrauliques non seulement au point de vue des dépenses de premier établissement, mais aussi au point de vue des frais d'exploitation. Il faut dire aussi que la majeure partie des appareils hydrauliques du port de Marseille sont manœuvrés par les portefaix eux-mêmes, tandis qu'avec des machines à vapeur il faudrait indubitablement à chacune d'elles un conducteur, pour la machine et l'engin, et un chauffeur. L'entretien serait plus difficile, plus dispendieux et donnerait lieu à des chômages fréquents et par suite à des interruptions de travail. D'où je conclus, qu'en général il y a un grand avantage à se servir de l'eau sous pression pour tous les outils et engins disséminés sur un grand espace, travaillant par intermittence, mais ne restant pas trop longtemps inoccupés. Il est certain que si l'on employait ces appareils pour manœuvrer des vannes, des formes de radoub ou des plaques tournantes qui n'effectueraient qu'une rotation toutes les quatre ou cinq heures, les frais seraient très grands, et il serait infiniment préférable de manœuvrer ces engins à bras d'homme. Par contre, s'il s'agissait d'un ouvrage mobile isolé, très lourd, de plusieurs centaines de tonnes, ne se mouvant qu'une ou deux fois par jour, tel qu'un pont jeté sur un canal, les appareils hydrauliques deviendraient économiques; car deux hommes actionnant une pompe pourraient refouler dans un accumulateur, pendant l'intervalle de deux opérations, la quantité de travail nécessaire pour en disposer ultérieurement au moment voulu.

M. Quéruel dit qu'il a vu avec regret le délaissement de l'emploi de ces appareils au chemin de fer du Paris-Lyon-Méditerranée, dans le nouvel entrepôt de Bercy, où des essais ont été faits, il y a dix-huit ans, et ont dû être abandonnés, a-t-on dit, devant la résistance du personnel. Je ferai remarquer à ce sujet que le transbordement des marchandises dans les gares de chemins de fer ne peut pas être mis en parallèle avec les transbordements dans les ports, et que les engins hydrauliques pourraient très bien dans les gares devenir, dans certains cas, plus onéreux que la manutention à bras d'homme.

En effet, une partie du matériel est couvert; de là, une difficulté pour la prise des colis. D'autre part, le plancher des wagons étant à la même hauteur que les plates-formes, les appareils n'ont ainsi presque aucun travail d'élévation à effectuer, mais bien un simple déplacement latéral. A bord des navires, pour les débarquements, au contraire, les grues ont à soulever la charge à une hauteur de huit à dix mètres, ce qui constitue pour chaque levée un travail d'élévation de 8 à 10 tonneaux-mètres pour les grues d'une tonne, et de 24 à 30 tonneaux-mètres pour les grues de trois tonnes.

Comme les chemins de fer sont appelés à transporter les mêmes marchandises que les bâtiments de mer, il semblerait rationnel que les gares fussent munies de grues de même puissance que celles des ports, soit de 1 tonne et 3 tonnes, mais de moins de portée, de course plus faible.

Lorsque les wagons découverts seraient chargés de sacs, de caisses ou de ballots ne pesant que 100 à 200 kilogrammes l'un, ce qui arrive fréquemment, il faudrait désarrimer ces colis et en former une *palanquée* pesant 1 tonne ou 3 tonnes[1]. Or, on voit de suite que pendant l'intervalle que l'on mettrait à former les palanquées, les hommes auraient plus que le temps nécessaire pour porter à bras les colis du wagon sur la plate-forme. Si l'on voulait activer l'opération, il faudrait ne prendre qu'un colis à la fois, ce qui serait beaucoup plus dispendieux que le déchargement à bras.

Cette manière d'opérer s'impose cependant dans quelques circonstances pour certaines marchandises. Ainsi la gare de Camdentown, à Londres, reçoit tous les matins plusieurs trains chargés de denrées alimentaires, telles que viandes de boucherie, herbages, bière, fromages, etc. A leur arrivée dans la gare ces denrées sont transbordées immédiatement au moyen d'appareils hydrauliques, des wagons sur camions, afin de pouvoir être transportées sur les divers marchés de Londres avant dix heures du matin. Ce service étant très important, et la célérité indispensable, on ne s'est pas préoccupé de la question d'utilisation qui est très faible, puisqu'il arrive fréquemment aux appareils de travailler avec le cinquième et même le dixième de leur charge normale.

On comprend que cette manière d'opérer ne puisse s'appliquer dans les gares ordinaires où les marchandises d'arrivée n'ont nullement besoin d'être expédiées en ville, à domicile, avec cette célérité qui les grèverait, du reste, de frais très considérables. On peut donc dire que ce n'est pas la résistance du personnel des chemins de fer qui a retardé l'application du système hydraulique dans les gares, mais bien les difficultés que nous venons de signaler et qui rendent ce mode d'exploitation plus coûteux que par les procédés ordinaires.

M. Sartiaux, ingénieur des chemins de fer du Nord, qui a visité l'installation hydraulique toute récente de la gare à marchandises du port d'Anvers et a suivi en détail les opérations de manutention, n'hésite pas à dire que le transbordement des marchandises, au moyen d'appareils, qui la plupart du temps ne travaillent qu'à des charges bien inférieures à la puissance normale, y est plus onéreux que s'il était exécuté à bras d'hommes.

Pour que cet outillage puisse être adopté dans les gares, il faudrait qu'il fût possible d'affecter spécialement des plates-formes de transbordement aux wagons chargés de sacs, de caisses ou de ballots, dont le poids varie entre 100 et 200 kilogrammes, et les munir de grues à double pouvoir, de 100 et 300 kilogrammes de puissance. On procéderait de même pour les wagons chargés de colis pesant de 1 tonne à 3 tonnes, pour lesquels les plates-formes comporteraient des grues à double pouvoir de la puissance susmentionnée. Mais pour opérer de cette façon, il faudrait préalablement procéder au triage des wagons avant de les conduire aux plates-formes.

1. C'est ce qui se fait au débarquement des navires chargés de marchandises en sacs ou en ballots.

En admettant que cela soit réalisable, on ne résoudrait néanmoins pas toutes les difficultés; attendu que les wagons ne se chargent pas suivant la nature des expéditions, mais bien d'après les lieux de destination. On se trouverait donc assez fréquemment en présence de wagons contenant des colis dont le poids présenterait des écarts très notables.

Selon nous, les appareils hydrauliques ne deviendraient économiques que dans les gares spéciales ne recevant que des matières lourdes et encombrantes, matériaux de construction et machines, ou encore des marchandises en colis ou en fûts pesant de 500 kilogrammes à 1 tonne, ainsi que pour les fardeaux exceptionnels.

M. Quéruel ne pense pas que l'on puisse se méprendre sur le sens des critiques qu'il a présentées, lesquelles ne portent, dit-il, que sur des perfectionnements qui accroîtraient l'utilisation des appareils hydrauliques; car il est complètement édifié sur les avantages qui résulteraient de l'emploi de ce système à tous les engins de manutention. Ce qu'il a voulu surtout, c'est appeler l'attention des ingénieurs chargés d'en faire l'application vers une solution plus rationnelle et plus économique que celle adoptée au port et aux Docks de Marseille.

Il ne nous reste donc qu'à remercier MM. Duteil et Quéruel d'avoir appelé l'attention des ingénieurs sur notre outillage, et de nous avoir ainsi donné l'occasion de rétablir les faits dans leur complète exactitude.

M. Quéruel fait observer que cette note est moins une réponse adverse aux observations présentées par lui dans la séance du 3 octobre dernier, qu'un complément à la communication faite par M. Duteil, à laquelle elle ajoute quelques explications intéressantes.

En thèse générale, M. Quéruel est partisan très convaincu des avantages précieux de l'hydrodynamique, tant à cause de la docilité de fonctionnement des appareils, de la précision des manœuvres de levage, que pour l'économie générale qui en résulte. Mais, malgré les affirmations de M. Barret, il ne saurait admettre que les appareils en poussée dans un palan, abandonnés aux influences latérales, sans guide de tête, soient à l'abri de causes déformatrices; pas plus qu'il n'admet les affirmations analogues à ce fait, que le piston et le cylindre d'une machine horizontale ne s'usent pas sous l'influence de leur propre pesanteur. Il n'est aucun praticien qui ne sache que les frottements des réas sur leurs axes, les résistances des cordes ou des chaînes qui les garnissent, n'altèrent l'équilibre des efforts et n'en transportent du côté enroulant au côté déroulant une quantité proportionnelle aux frottements. Dans le palan ordinaire, c'est le brin courant qui est le plus chargé; dans celui des presses hydrauliques, c'est le brin dormant qui éprouve la plus grande traction, c'est un fait bien connu.

L'inconvénient de l'excès de longueur de l'appareil à traction sur celui à poussée, que l'on cite, n'est réellement pas un obstacle à son emploi; l'appareil à traction paraît, au contraire, très propre au service des portes

d'écluses, en ce qu'il peut travailler à double effet par ses deux extrémités pour ouvrir et fermer. Il peut mieux que l'appareil à poussée se prêter à diverses combinaisons d'amplification de mouvement et donner un rendement supérieur.

La grue à puissance variable est une question du plus haut intérêt, aussi quelques détails sur la constitution et le mode de fonctionnement des appareils de ce genre établis aux Docks de Marseille eussent été aussi bien accueillis qu'étudiés. L'efficacité des grues à puissance variable réside dans la simplicité du fonctionnement.

Quant à la question, si à l'ordre du jour, de la manutention des grains, il est regrettable que M. Barret n'ait pas indiqué le rendement en blé élevé à 9 mètres par une dépression de $0^m,35$ de mercure. A Paris on opère à 10 mètres d'élévation avec une dépression de $0^m,018$; lequel des deux procédés est le préférable? M. Quéruel a expérimenté sur de faibles dépressions, et il a constaté que le rendement s'accroît avec les dépressions ; ce qui le conduit à penser qu'il y a avantage à fonctionner à $0^m,30$ à $0^m,35$ de mercure, comme on le pratique à Marseille.

Dans les divers projets rédigés par M. Quéruel en 1866 pour l'agencement de la scène de l'Opéra, figurent deux machines Verrier-Normand, aujourd'hui dites Compound, destinées au service d'eau comprimée pour les appareils hydrodynamiques qui devaient desservir la machinerie de ce théâtre; disposition exactement semblable à celle projetée par M. Barret pour les Docks de Marseille. Mais depuis ses propres travaux sur l'utilisation de la vapeur M. Quéruel a changé d'avis. Dans ces conditions les Compound sans détente particulière donneraient, pour un rapport de 4 volumes entre les cylindres, 13.300 kilm. par m. 3 de vapeur à 1 kilm. de pression; tandis qu'une machine à 20 volumes d'expansion fixe rendrait 37.000 kilm. Il pense que la vitesse pourrait varier entre 1 et 40 révolutions à la minute, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des volants excessifs. La machine ne subirait point d'arrêt, le produit de 1 révol. par minute serait une très faible perte, si l'on considère les rares circonstances où elles se produiraient.

M. Quéruel a appris que l'administration des travaux publics, bien pénétrée des avantages de grandes installations d'hydrodynamique dans nos ports, tient cette question à l'étude pour en favoriser l'application aussitôt que ce sera possible.

M. Ivan Flachat donne communication de sa note sur les *voies de tramways ;* il rappelle qu'à l'ouverture de l'Exposition universelle de 1878 la Société des ingénieurs civils organisa plusieurs sections chargées de l'étude des produits exposés dans les diverses branches de l'industrie pouvant intéresser ses membres. Les travaux de la section du matériel de la voie furent conduits d'une manière très remarquable par M. H. Mathieu, vice-président de la Société, présidant cette section.

Les documents ainsi réunis sont fort complets, et M. E. Lecocq, ingénieur

aux chemins de fer du Midi, a bien voulu se charger de les résumer dans le rapport qui a paru dans le *Bulletin* de juillet dernier.

Il appartenait de rendre hommage au zèle et au talent de ses collègues, à celui d'entre eux dont la tâche a été la plus simple, facilitée encore par le bon concours qu'il a trouvé parmi eux pour étudier les voies des tramways à l'Exposition universelle.

On trouvera donc au dossier déposé aux archives de la Société, comme l'a déjà fait connaître M. Lecocq, tous les détails des voies qui ont été produites au Champ de Mars et au Trocadéro. Mais M. H. Mathieu a pensé que ce travail, résumé au point de vue technique, pourrait être intéressant à présenter séparément avec quelques réflexions sur les conditions générales d'établissement des tramways, sur les applications diverses qui en ont été faites, et celles que l'on peut en faire. C'est cette seconde partie de ma tâche dont je vais m'efforcer de m'acquitter envers vous, en abusant le moins possible de votre bienveillante attention.

M. Ivan Flachat résume ensuite l'origine des *tramways*, et décrit les chemins de bois établis en Angleterre au dix-septième siècle pour amener les houilles de Newcastle au bord de la Tyne, puis les chemins de bois doublés de fer à rebord affleurant la chaussée, tels qu'ils sont encore en usage aujourd'hui à Philadelphie, puis le chemin mixte des usines de Rhymney et Blaina à Newport (Monmouthshire), sur lequel les véhicules portaient des roues disposées pour rouler tantôt sur des rails saillants, tantôt sur des fers à rebords. Il signale le mode de pavage usité à Milan et dans d'autres villes d'Italie, où les anciennes rues pavées en cailloux roulés sont munies de larges dalles en pierre posées longitudinalement pour faciliter la circulation des voitures; enfin les divers systèmes de voies usités ou proposés tant en France qu'à l'étranger pour améliorer la circulation sur les routes ordinaires, et appelés tramways à tort ou à raison.

M. Ivan Flachat fait remarquer à ce sujet que le système de *tramways* adopté par les villes de Lille et de Genève, et se composant essentiellement d'un rail et d'un contre-rail, est trop voisin du système de voies en usage sur les grandes lignes de chemins de fer aux traversées des grandes routes et des passages à niveau, pour rentrer dans la classe des rails à ornières; d'autant plus que le roulement ne se fait pas, comme à Philadelphie, sur le fond de la gorge du rail, mais sur la partie saillante. Ce sont donc de véritables *railways* tout comme les *Chemins de fer Parisiens*,' improprement appelés *tramways*.

Tels qu'ils sont établis les Chemins de fer Parisiens ou tramways, réseaux Nord et Sud, ont coûté au 31 décembre dernier (1878) entre 300 et 400.000 francs par kilomètre, dans lesquels la voie entre pour 141.000 francs et 225,000 francs. Celle du réseau exploité par la Compagnie générale des Omnibus n'a occasionné qu'une dépense de 105.000 fr. (Les éléments de ces prix seront publiés avec les croquis des voies dans un des plus prochains *Bulletins*).

Ces chiffres, tout considérables qu'ils soient, sont encore loin de ceux

qu'il faudrait inscrire pour des chemins de fer métropolitains, n'empruntant pas les voies publiques; et leur comparaison serait le meilleur plaidoyer en faveur de la généralisation des chemins de fer sur routes et des tramways. Mais l'application en serait encore des plus limitées si les chiffres ci-dessus étaient le dernier mot de l'économie d'établissement.

On a fait en France quelques tentatives pour l'introduction sur les chaussées ordinaires du gros matériel employé sur le grand réseau à la voie de 1m 50; mais ces tentatives ont eu peu de succès. Il en eût été tout autrement si le matériel avait été moins lourd et moins volumineux, et proportionné à celui qui circule librement sur les routes ordinaires.

M. Ivan Flachat cite l'exemple des houillères de Champagnac qu'on avait proposé de relier au grand réseau au moyen d'un chemin de fer, empruntant, le long des rives escarpées de la Dordogne, un chemin de rive presque sans usage aujourd'hui. Cette occupation n'ayant pas été autorisée la Compagnie allait probablement, sur sa proposition, transformer le projet de chemin de fer en un tramway, qui n'eût plus soulevé les mêmes objections, quand une Compagnie s'est présentée pour l'exécution d'un chemin de fer à grande section aboutissant aux mines de Champagnac, mais dans une autre direction. Ces mines seront ainsi desservies à moindres frais, mais au détriment des intérêts de la vallée de la Dordogne. Peut-être avec le temps on se serait aperçu que le chemin de rive avait vraiment bien peu de trafic, et une fois le tramway exécuté le long de la Dordogne l'administration aurait toléré la substitution progressive des rails saillants, comme cela a eu lieu sur le chemin de Newport. On aurait eu en tous cas une solution immédiate, et le pays aurait joui dix ans au moins plus tôt de la plus-value de sa complète transformation.

En utilisant ainsi l'accotement et même les chaussées des routes et des moindres chemins on peut établir, avec un matériel ne sortant pas des dimensions ordinaires, des transports commodes pour les voyageurs, économiques pour les marchandises, tout en recevant de son argent un intérêt rémunérateur.

M. Ivan Flachat ne croit pas sortir de son sujet en citant comme exemple bien remarquable de l'élasticité prodigieuse que l'on obtient en réduisant les proportions de la voie, pour l'extrême diffusion des chemins de fer, le matériel minuscule en usage à Petitbourg pour l'exploitation de la ferme de M. Decauville. Ces voies ont 40 à 50 centimètres de largeur entre rails, elles ne rentrent pas dans la classe des voies à ornières, mais elles sont si peu saillantes et si faciles à déplacer, qu'elles ne forment guère plus d'obstacle à la circulation que les planches posées sur la voie publique par les brouetteurs. Elles tiennent d'ailleurs fort peu de place, et il n'est pas de chemin vicinal dont elles ne puissent occuper un accotement sans nuire à la circulation. Cependant de si minimes proportions ne sont pas sans inconvénient et le Festiniog du pays de Galles, avec sa voie de 60 centimètres, est un tour de force que l'on ne saurait prendre pour modèle dans tous les cas. Il conviendrait de s'arrêter à des types intermédiaires, comme un mètre ou

soixante-quinze centimètres d'écartement. Mais alors cette voie a l'inconvénient de tous les rails saillants, et ne pourrait être autorisée d'une manière courante à suivre le parcours des chemins et des routes ordinaires. Il y a donc, dans cet ordre d'idées, de nouvelles applications à faire des rails à ornières, et la véritable solution de la locomotion rurale paraît être dans une combinaison du rail saillant partout où il est possible, avec le rail à ornière dans les passages à circulation banale. Il suffira de disposer, comme on l'a fait au chemin de Newport, les bandages des roues pour permettre le roulement tantôt sur la jante et tantôt sur le boudin.

M. Ivan Flachat termine en exprimant sa confiance dans la nécessité où l'on se trouvera d'en venir là quand les difficultés financières, qui par malheur reviennent périodiquement, ne permettront plus de consacrer 300.000 ou 400.000 fr. par kilomètre à des chemins de fer dont le trafic ne couvre pas les frais d'exploitation. Les tramways français seront alors aux grandes lignes actuelles, ce que les Chemins de fer Parisiens sont eux-mêmes aux Métropolitains de la grande ville de Londres.

M. le Président remercie M. Ivan Flachat de son intéressante communication qui donnera sans doute naissance à une discussion des plus profitables, mais l'ordre du jour étant un peu chargé, il se trouve dans la nécessité de la remettre à une prochaine séance.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Cotard, sur l'Aménagement des eaux.

Je me propose de reprendre devant vous la question de l'aménagement des eaux, dont j'ai déjà essayé d'esquisser les principes généraux, dans une première communication au mois d'août de l'année dernière.

Cette question, que j'avais d'abord présentée, dès 1876, à la Société des Agriculteurs de France, à cause de son caractère plus particulièrement agricole, a été l'occasion, dans chacune des sessions annuelles de cette Société, de vœux qui ont eu une certaine importance.

Parmi ces vœux, que j'avais appuyés de considérations sur lesquelles je reviendrai tout à l'heure, ceux émis dans la session de 1877 demandaient :

« Que la Commission mixte composée de délégués des trois ministères de « l'Agriculture et du Commerce, des Travaux publics et des Finances, dont « la formation avait été projetée en 1875, en vue de l'étude de l'aménage- « ment des eaux de la France, fût définitivement constituée; et, aussi, que « l'Administration poursuive le prompt achèvement de la carte de France « au quarante-millième, avec l'indication des courbes de niveau par alti- « tudes au plus de 10 en 10 mètres, et que cette carte fût livrée au public « à aussi bon marché que possible, avec les statistiques concernant le « débit des différents cours d'eau. »

Je cite tout de suite ces vœux, parce qu'ils ont déjà reçu leur réalisation et qu'il est bon de signaler l'exemple d'une société analogue à la nôtre, qui

a pu faire entendre sa voix et concourir ainsi à l'adoption de mesures qui lui ont semblé utiles.

La Commission dont la création était demandée en mars 1877, a été instituée par les décrets du 13 octobre 1877 et du 5 septembre 1878, sous le nom de *Commission supérieure pour l'aménagement et l'utilisation des eaux*, et un arrêté ministériel du 5 octobre 1878, constitue une autre commission en vue de préparer les bases d'un nivellement général en France.

M. de Freycinet, ministre des Travaux publics, à qui reviennent l'initiative et l'honneur de ces intéressantes mesures, expose dans ses rapports, que « les études prescrites par les décrets des 2 et 15 janvier 1878, en vue « de l'achèvement des voies de communication, sont arrivées à leur « terme; que le moment semble être venu d'aborder un nouveau sujet « d'études, qui forme le complément naturel du programme des Travaux « publics, l'aménagement et l'utilisation des eaux au double point de vue « agricole et industriel, » et qu'il y a lieu, après s'être rendu compte des modifications qu'il conviendrait d'apporter à la législation et aux règlements existants, « de rechercher sur la surface du territoire les principales « opérations, qui se présentent avec des conditions d'importance et des « chances de réussite convenables de façon à dresser, comme on l'a fait « pour les voies de communication, l'inventaire méthodique des améliora« tions à poursuivre dans l'aménagement des eaux. »

En ce qui concerne l'établissement d'une carte de nivellement de la France, M. le ministre fait ressortir les services que ce travail est appelé à rendre, pour l'étude des améliorations agricoles, le bon aménagement des eaux, le développement des communications, et, en général, pour tous les travaux qui exigent une connaissance précise de la topographie du sol.

Cette carte de nivellement, à courbes de niveau, n'est encore prévue qu'à une échelle bien réduite, mais elle constituera déjà un utile acheminement vers l'œuvre définitive de la carte au vingt ou même au dix-millième.

En attendant la réalisation de cette grande œuvre, et pour répondre à des besoins urgents, le ministère de l'Intérieur fait dresser, de son côté, une carte routière et hydrographique de la France, à l'échelle du cent-millième.

Ce beau travail, confié à un ingénieur distingué, M. Anthoine, est actuellement en pleine voie d'exécution, et se poursuit avec rapidité malgré la multiplicité des recherches qu'il comporte. Un assez grand nombre de feuilles, établies et vérifiées avec un soin remarquable, sont déjà terminées et livrées au public.

Enfin, un service spécial institué au ministère des Travaux publics, sous l'habile direction de M. l'Ingénieur en chef Cheysson, établit, pour chaque département, des cartes et des tableaux statistiques donnant la description et le régime des différents cours d'eau, ainsi que leurs utilisations actuelles.

Un tel ensemble de travaux et d'études de toutes sortes, entrepris en vue d'une connaissance plus complète des ressources hydrauliques du terri-

toire, et de leur meilleure utilisation, montre que la question de l'Aménagement des eaux, trop longtemps négligée, est enfin entrée dans une voie de sérieux examen, et qu'elle est ainsi appelée à prendre bientôt la place importante qui lui revient dans les œuvres d'utilité publique.

Notre Société des Ingénieurs civils, ne saurait demeurer indifférente à ce mouvement d'idées, qui est peut-être destiné à ouvrir une carrière nouvelle à l'activité et à la fortune de notre pays.

La Commission supérieure, réunie pour la première fois au mois d'octobre 1878, a tenu, pendant les six mois de durée de sa première session, de nombreuses séances, dont le compte rendu vient d'être publié par les soins de l'Administration.

J'ai pensé que vous entendriez avec intérêt les explications que je pourrais vous donner sur les travaux de cette commission.

Mais, auparavant, je crois utile de revenir d'abord, sur les considérations que j'avais commencé à vous exposer dans ma première communication, et de chercher à poser quelques principes qui puissent servir de guide dans l'examen des différentes questions que comprend le problème général de l'aménagement des eaux.

Quand on examine les différents travaux hydrauliques, qui ont été exécutés, et qui se poursuivent encore aujourd'hui, on est frappé de leur manque d'unité et des faibles résultats obtenus.

Certaines parties du territoire demandent de l'eau pour leurs besoins agricoles et n'en peuvent obtenir, sous prétexte que les rivières qui pourraient la leur fournir en manquent elles-mêmes pour le service de la navigation ou des usines; dans d'autres parties, il y en a trop sans que l'on sache comment utiliser ces eaux surabondantes ou comment s'en défendre; des étangs mal entretenus, mais qui pourraient être assainis et utilisés, sont inconsidérément désséchés; enfin, les riverains des cours d'eau, préoccupés seulement de se garantir contre les crues, élèvent des digues qui ont pour effet de rendre le régime des cours d'eau encore plus irrégulier.

L'habitude qu'on a eue d'isoler ces différentes questions a été telle qu'elle a consacré ces termes singuliers d'eaux *nuisibles* et d'eaux *utiles*, comme si l'emploi ou l'innocuité des eaux ne dépendait pas uniquement de leur mode de répartition.

On a si bien travaillé à se débarrasser des eaux prétendues nuisibles, qu'il n'en est plus resté d'utiles pour ceux qui en avaient besoin.

Le seul moyen de sortir de toutes ces contradictions est d'abandonner la méthode, qui consiste à n'envisager qu'isolément ces diverses questions, et d'aborder résolument le problème dans son ensemble, en cherchant à établir une sorte de *Théorie générale de l'Aménagement des eaux*, donnant, pour chaque cas particulier, une solution qui concoure en même temps au but commun, qui est d'utiliser toutes les eaux disponibles du territoire, et d'en régler le régime.

Je ne me dissimule nullement, qu'une pareille théorie est des plus difficiles et des plus complexes, et si j'ose aborder une telle question, c'est

beaucoup moins dans l'espoir de la résoudre qu'à cause de l'utilité qu'il me paraît y avoir à la poser.

Je me hasarderai cependant à vous présenter sur ce difficile sujet quelques idées que je soumets à votre appréciation.

Les considérations qui suivent ne seront peut-être pas inutiles, d'ailleurs, pour l'étude des questions spéciales que nous aurons ensuite à examiner.

Pour établir une théorie générale de l'aménagement des eaux, il faudrait connaître les lois qui régissent le mouvement des eaux à la surface du globe et en déterminer les effets. Leur observation est fort difficile à cause de l'extrême lenteur que présentent, dans leurs variations, les phénomènes qu'elles produisent.

Ces variations sont à peine appréciables si on cherche à les observer dans une même région pendant une période toujours courte relativement au temps qu'elles embrassent; mais, elles deviennent plus sensibles quand on compare entre eux des fleuves ou des bassins différents dans lesquels les changements dus à l'écoulement des eaux se présentent à des degrés plus ou moins avancés et comme à des âges successifs.

C'est dans cet ordre d'idées que j'exprimais, il y a quelque temps, devant la Société de géographie, cette opinion qu'il ne suffit pas de considérer la géographie au point de vue exclusif de la description de la terre dans son état actuel, dans son état *statique*, mais qu'il convient de l'étudier aussi dans le temps et de faire ainsi la géographie *dynamique* du globe et l'histoire de ses évolutions successives.

On sait que d'anciennes contrées, aujourd'hui totalement désertes et inhabitables, étaient autrefois peuplées et florissantes. L'histoire, en nous retraçant les fortunes diverses et la disparition de ces vastes empires qui tiennent une si large place dans l'antiquité, ne nous explique pas suffisamment comment la solitude des déserts a fini par succéder à des périodes si prospères.

Cette décadence, qui se constate dans beaucoup de pays d'Orient et que les révolutions politiques ne suffisent pas à justifier, est attribuée, d'après certaines théories, à de lentes modifications dans la répartition des climats et des températures; mais on peut aussi en rechercher la cause dans des changements qui seraient survenus, soit naturellement, soit par la main de l'homme, dans le régime des eaux.

L'étude du bassin du Nil est, sous ce rapport, des plus instructives.

uand on remonte ce grand fleuve, on est frappé des modifications considérables qui ont dû s'y produire.

A la première cataracte, on voit, sur les rochers qui la dominent, les traces du passage des eaux. Plus haut, à d'autres cataractes, des repères, restés sur d'anciens monuments, montrent que le niveau du fleuve était autrefois beaucoup plus élevé et qu'il permettait aux eaux de se dériver dans des vallées latérales aujourd'hui complètement desséchées et qui portent maintenant dans le pays le nom de *fleuves sans eau*. D'autres cours d'eau affluents, se sont également épuisés. C'est ainsi que, par suite d'un

abaissement progressif des eaux supérieures, de grandes étendues de pays ont pu se transformer en déserts.

En remontant encore, on rencontre, après une suite de rapides et de cataractes, d'immenses marais qui paraissaient être d'anciens lacs en voie d'épuisement, et enfin les lacs véritables où le fleuve s'alimente. On affirme aussi que, d'après d'anciens repères, la différence entre les hautes et les basses eaux a sensiblement augmenté. Enfin, de grands atterrissements se sont produits dans la partie inférieure du cours du fleuve jusqu'à son embouchure.

De toutes ces données, il est déjà permis de conclure, à titre de conjecture assez vraisemblable, que les eaux, retenues d'abord à des niveaux plus élevés, se sont peu à peu abaissées en même temps que les barrages formant les cataractes et que, ne pouvant plus, par suite de cet abaissement, se répandre dans les régions supérieures du bassin, sur de grands espaces, elles ont dû précipiter leur cours dans un lit plus rétréci et plus profond, où elles ont alors produit des crues plus considérables et des atterrissements qui ont surélevé les parties basses de la vallée.

A des degrés différents, des effets analogues peuvent se constater dans d'autres bassins.

Si on regarde attentivement, sur une carte, la configuration des différents fleuves, on voit que leurs bassins se partagent généralement en une série de dépressions qui se réunissent entre elles par des défilés plus ou moins étroits.

Il est à supposer, comme dans la vallée du Nil, que ces dépressions formaient primitivement des lacs et que les défilés qui les réunissent sont les restes d'anciennes cataractes progressivement abaissées.

Dans beaucoup de vallées on voit des couches de terrain qui se continuent exactement d'une rive à l'autre et dont la coupure ne peut être attribuée qu'à l'action des eaux.

Certaines dépressions, comme au Glen Roy, en Écosse, présentent sur leurs versants des sortes de terrasses parallèles que l'existence d'anciens lacs peut seule expliquer.

Enfin, les grottes fossilifères offrent encore des témoignages du passage des eaux à des hauteurs qu'elles n'atteignent plus aujourd'hui.

Les lacs se sont peu à peu vidés à mesure que les seuils ou barrages qui les formaient se sont abaissés et leur fond, mis à découvert, s'est alors présenté sous la forme de plaines plus ou moins nivelées par les alluvions des cours d'eau affluents.

Ce travail d'érosion et d'abaissement des seuils, bien qu'extrêmement lent, peut cependant se constater sur plusieurs fleuves où existent encore des cataractes. On peut citer, par exemple, la chute du Niagara, dont le recul progressif indique l'usure de cette barrière naturelle qui constitue la retenue du lac Erié.

On conçoit que, par la suite des temps, cette barrière finisse par céder à l'action incessante des eaux et que le niveau du lac subisse alors un abaissement, en laissant sur son pourtour la trace horizontale du niveau actuel de

ses eaux, ainsi que celle des deltas ou atterrissements dus aux apports des rivières qui s'y jettent, comme cela se voit encore sur les terrasses du Glen Roy.

Les surfaces successivement mises à découvert par l'abaissement des lacs et délimitées par leurs enceintes montagneuses, formaient les parties les plus fertiles de chaque bassin.

La difficulté de toute communication entre ces contrées, que séparaient sans doute autrefois des défilés souvent infranchissables, a peut-être été une des causes premières des caractères différents qui ont distingué entre elles, depuis les temps les plus reculés, les populations qui se sont développées dans ces diverses régions, désignées encore aujourd'hui par des dénominations géographiques spéciales.

En examinant à ces divers points de vue le cours du Danube, par exemple, on voit apparaître d'abord la Bavière, limitée au sud par les Alpes, au nord par les montagnes de la Forêt-Noire, de la Souabe, de la Franconie et de la Bohême; puis l'Autriche et la Moravie et, après les défilés du Kahlenberg, la Hongrie, autrefois fermée par les barrières des Carpathes, dont la rupture a formé les étroites gorges des Portes de Fer.

Le bassin du Rhin fournit les mêmes indications. Les brèches faites à Luciensteig, au-dessous de Coire, et à Bâle, entre le Jura et la Forêt-Noire, en donnant issue aux eaux, n'ont laissé en amont que les eaux retenues dans des cuvettes profondes qui forment actuellement les lacs de Suisse, et le Rhin, franchissant ensuite la chaîne des Vosges et du Taunus, a mis à découvert la grande plaine du pays de Bade.

On peut encore citer : le Rhône, qui s'est frayé un passage entre le Jura et les Alpes de Savoie, en laissant derrière lui la grande cavité du lac de Genève, dernier régulateur des eaux qui descendent du bassin du Valais; la Bohême, si nettement délimitée par les montagnes qui l'entourent, et que les eaux de l'Elbe ont mise à découvert en s'échappant par la brèche de Winterberg; le lac de Garde, dernier reste des eaux du Mincio, autrefois retenues à une plus grande hauteur avant que leur enceinte montagneuse ne se soit abaissée aux environs de Peschiera; dans le bassin de la Loire, la plaine du Forez, qui s'est vidée par l'ouverture des monts de la Madeleine, près de Roanne; la Hesse, mise à découvert par la brèche que se sont faite les eaux du Weser au défilé qui porte le nom de Porte de Westphalie; la Thessalie qui, d'après Hérodote, était autrefois un lac, dont les eaux se sont écoulées par la vallée de Tempé, creusée entre les monts Olympe et Ossa.

Mille autres exemples pourraient être indiqués dans les bassins principaux et secondaires de la plupart des fleuves, et j'entends ici par *bassin* toute étendue de territoire dont toutes les déclivités convergent vers un thalweg commun.

Ces considérations ne sont pas spéciales aux fleuves qui viennent d'être cités; elles s'appliquent aussi bien aux cours d'eau des autres continents.

Les mêmes observations peuvent aussi être faites dans les bassins tout à fait secondaires et même dans les vallées des plus petites dimensions.

Partout où l'on voit ces vallées s'élargir et présenter l'apparence d'une plaine, on est presque assuré de trouver, un peu plus bas, un rétrécissement formé par le rapprochement des deux versants, et qui est généralement d'autant mieux accusé que la plaine qu'ils délimitent est plus étendue.

Les lits eux-mêmes des cours d'eau présentent aussi presque toujours cette succession de parties larges ou profondes, où l'eau est relativement tranquille, et de parties étroites, où le courant devient plus rapide.

Une telle concordance dans la configuration des bassins et dans le régime des fleuves, depuis les plus grands cours d'eau jusqu'aux plus petits ruisseaux, semble indiquer que des lois communes régissent ces divers phénomènes. Sans prétendre à la détermination exacte de ces lois, on peut du moins essayer de grouper les observations qui précèdent dans la formule générale suivante :

I. — Tout cours d'eau, à la première phase de son évolution, est représenté par une série de lacs étagés les uns au-dessus des autres, et limités par une enceinte montagneuse, dont la rupture ou l'érosion produite par le passage des eaux au point le plus bas, fait communiquer par un seuil le lac qu'elle circonscrit avec celui qui lui est immédiatement inférieur, et entraîne par cela même l'abaissement du niveau de ses eaux.

II. — Dans une seconde période, par suite de cet abaissement de niveau, le fond des lacs, exhaussé d'ailleurs par les alluvions, est peu à peu laissé à découvert par les eaux, et chaque bassin présente alors un système de cours d'eau proprement dits, gagnant par la voie la plus courte le fond des vallées pour former un courant principal qui, franchissant dans des gorges plus ou moins profondes les seuils séparatifs des anciens lacs, se précipite vers la partie inférieure de la vallée, où il porte ses atterrissements.

III. — Dans une dernière période, l'approfondissement du lit des rivières résultant de l'érosion continue des seuils, en épuisant les réservoirs qui servaient de régulateurs, produit le régime intermittent et torrentiel des cours d'eau, quelquefois même leur épuisement total, et amène le dessèchement des parties élevées du sol et finalement le désert.

Le but de l'aménagement des eaux est sinon d'entraver la marche de ces phénomènes, de tâcher du moins de la diriger méthodiquement, afin de tirer le meilleur emploi possible des eaux dont dispose chaque territoire.

On objectera, peut-être, que ces phénomènes se succèdent avec trop de lenteur pour qu'il y ait à s'en préoccuper.

Il est certain que la configuration actuelle des divers bassins ne semble plus soumise aujourd'hui à des modifications bien sensibles; cependant, les mêmes phénomènes continuent à se produire, et si leurs effets sont peu apparents, ils n'en ont pas moins souvent une importance considérable pour l'économie des territoires.

Il suffit de citer, par exemple, les immenses quantités de matières en suspension que les fleuves jettent encore actuellement dans la mer.

Ainsi que le dit si bien M. Henri Mangon, « Les cours d'eau, comme d'in-
« fatigables terrassiers, enlèvent sans cesse aux continents d'énormes vo-
« lumes des terres les plus fertiles pour les jeter dans la profondeur des
« mers.

« Le volume de limon entraîné en une année par la Durance représente
« la terre arable de près de quatre mille hectares de sol de première qua-
« lité, et en cinquante ans cette rivière précipite dans la mer une quantité
« de sol arable égale à celle d'un département français. »

Le Mississipi entraîne, à lui seul, en une année, plus de deux cents millions de mètres cubes de matières solides.

L'abaissement des eaux souterraines, observé dans quelques localités, la disparition de certaines sources, le dessèchement des plateaux élevés, et enfin les inondations, dont la fréquence paraît plutôt s'accroître, sont autant de faits qui viennent également à l'appui des considérations qui précèdent.

On peut déjà tirer quelques conséquences des principes qui viennent d'être exposés.

Les moyens employés, par exemple, pour remédier aux inondations, loin de mettre obstacle à la marche des phénomènes indiqués plus haut, semblent au contraire de nature à la rendre plus sensible.

En effet, que se passe-t-il ? Quelques riverains commencent à se garantir avec des digues. Ces ouvrages, élevés d'abord sur les points les plus menacés, produisent, par le rétrécissement des cours d'eau, une élévation correspondante dans le niveau des crues. D'autres riverains, menacés à leur tour, doivent alors suivre l'exemple des premiers, de sorte que l'étendue des parties endiguées s'augmente progressivement. L'extension ainsi obligée de ce système de défense conduit donc à la nécessité de surélever sans cesse les digues précédemment établies, sans qu'on puisse prévoir avec certitude si leur hauteur pourra jamais être rendue suffisante. Ce double effet se constate dans les fleuves très endigués, comme le Pô et la Loire : le niveau des crues s'élève à mesure que l'endiguement se complète et se renforce.

Un tel système de défense a pour résultat d'accroître la tendance naturelle des eaux à s'écouler par grandes masses, tandis que le but à poursuivre devrait être de modérer leur chute.

Les dessèchements de lacs et d'étangs ont eu des effets analogues, en supprimant des réservoirs naturels où pouvaient s'emmagasiner d'assez grandes masses d'eau. Ces opérations, entreprises avec précipitation et conçues sans vues d'ensemble, ont encore contribué à accélérer la chute des eaux ainsi que leur accumulation dans le fond des vallées.

Il faut citer enfin les approfondissements et rectifications de rivières, entrepris en vue de faciliter la navigation.

Lorsque, dans un fleuve déjà rapide, on enlève des hauts-fonds afin d'y obtenir un plus grand tirant d'eau, les courants s'accélèrent, le niveau des eaux diminue, et bientôt de nouveaux hauts-fonds apparaissent sur d'autres

points. On hâte ainsi artificiellement le travail des eaux ; on aide la nature à détruire des seuils qu'il faudrait plutôt chercher à créer s'ils n'existaient pas.

C'est ainsi que les étiages s'abaissent, que les réservoirs supérieurs s'épuisent, et que les crues deviennent toujours plus fortes et plus fréquentes.

On peut en grande partie attribuer aux rectifications et aux endiguements du lit supérieur de la Theiss les terribles inondations de Szegedin. En persistant dans ce système de lutte directe contre les eaux, on s'expose à des dangers de plus en plus redoutables, et on accélère, d'autre part, au grand dommage de l'agriculture, l'asséchement des plateaux élevés.

Notre territoire offre dans certaines parties des exemples de cet épuisement progressif des eaux. Plusieurs départements du Midi, et en particulier le Gard et l'Hérault, en sont arrivés à un tel degré de desséchement, qu'en beaucoup de points toute culture y est devenue impossible, sauf celle de la vigne, qui, détruite aujourd'hui par le phylloxera, laisse après elle la stérilité complète, jusqu'à ce que des eaux, artificiellement retenues et dérivées dans les parties élevées du bassin, aient ramené dans le sol, aussi bien que dans l'atmosphère, les conditions d'humidité indispensables à la végétation.

Tel est, en effet, le problème à résoudre. Il consiste à recueillir dans des canaux sensiblement horizontaux et convenablement étagés, les eaux qui tombent sur les parties élevées du territoire, pour les diriger dans d'autres branches parcourant les faîtes séparatifs des différentes vallées, de façon à ramener artificiellement les eaux aux hauteurs qu'elles atteignaient autrefois lorsqu'elles étaient maintenues par des barrages naturels, et à s'en servir pour enrichir les terres qu'elles ont laissées à découvert après les avoir fécondées par leurs alluvions.

Cette conception, conforme aux principes qui viennent d'être exposés, n'est pas purement théorique, elle a été réalisée dans certaines contrées au moyen de dérivations empruntées à de grands cours d'eau, et notamment dans les Indes.

Un immense canal dérivé du Gange à la sortie des monts Himalaya, emprunte à ce fleuve les sept huitièmes de son débit à l'étiage, c'est-à-dire près de 200 mètres cubes par seconde, pour les répandre sur le Doab, province de plus de quatre millions d'hectares et peuplée de six millions d'habitants.

Sans atteindre de telles proportions, le canal d'irrigation du Rhône, dont l'exécution ne saurait être ajournée plus longtemps, est également destiné à répandre les eaux de ce fleuve sur une étendue de plus de 200,000 hectares.

La plupart des grands cours d'eau comporteraient des créations analogues. Pour ne prendre qu'un exemple, je citerai le Tage. Deux dérivations pourraient lui être faites au moyen de barrages établis dans les gorges étroites et profondes qu'il traverse à son entrée en Portugal. Ces deux dérivations, partant de la cote 100 mètres, et prolongées sur les deux versants,

embrasseraient un territoire de plus de 400,000 hectares qui pourrait être ainsi porté à un haut degré de fertilité et de richesse.

Une sorte d'avant-projet que j'ai pu faire préparer avec les données topographiques existantes, a déjà été soumis au gouvernement Portugais, qui se déterminera peut-être, sur ces premières indications, à entreprendre bientôt une étude détaillée de cette œuvre importante.

On n'a pas toujours à sa disposition un grand fleuve d'un fort débit même à l'étiage. Dans ce cas, la solution du problème est encore possible lorsque, dans les parties supérieures des bassins, le sol est suffisamment imperméable. On peut alors y recueillir les eaux qui coulent à la surface. Connaissant l'étendue du territoire situé au-dessus du canal destiné à en recevoir les eaux, la hauteur mensuelle des pluies et les coefficients d'absorption du sol et d'évaporation, on peut calculer le débit et le régime du canal, et par conséquent les quantités d'eau dont on peut disposer.

J'ai indiqué, il y a quelques années, la possibilité d'une vaste application de ce système pour le bassin de la Garonne; d'autres exemples pourraient être cités dans beaucoup de bassins moins étendus.

Mais il faut abréger ces considérations. J'ai voulu seulement exposer un essai de généralisation des divers phénomènes que présente le mouvement des eaux courantes à la surface du sol, et montrer la liaison qui existe entre les diverses questions comprises dans le problème général de l'aménagement des eaux, ainsi que l'inconvénient qu'il y a à les séparer les unes des autres.

J'aborde maintenant l'objet spécial de cette communication qui est de vous faire connaître, dans leurs points principaux, les travaux de la Commission supérieure.

Cette commission s'est tout d'abord partagée en trois sous-commissions :

L'une, chargée des irrigations et des desséchements;

La seconde, de l'alimentation des villes et de l'utilisation des eaux d'égout ;

La troisième, des inondations.

Cette division écartait ainsi précisément, dès le début, le principe d'une étude première du problème considéré à son point de vue le plus général.

J'avais bien signalé les inconvénients de ce fractionnement, mais on conçoit qu'en présence de la multiplicité des questions à étudier la commission ait jugé nécessaire de partager d'abord le travail.

Chacune des sous-commissions a présenté, sur les sujets qu'elle avait à traiter, un rapport fort étendu suivi de conclusions concernant les mesures législatives, administratives et financières dont l'adoption a paru devoir être proposée. Ces différents rapports ont ensuite donné lieu dans le sein de la Commission supérieure, réunie en séances générales, à des discussions approfondies et à l'adoption d'une série d'articles qui figurent à la fin du compte rendu qui vient d'être publié par les soins de l'Administration.

Ce travail est beaucoup trop considérable pour que je puisse en faire ici l'examen détaillé.

Je devrai forcément me borner à l'exposé tout à fait sommaire des considérations et des dispositions qui m'ont paru se rattacher plus particulièrement à la question générale de l'Aménagement des eaux et aux moyens proposés pour assurer l'exécution des travaux qui s'y rapportent.

Le rapport présenté au nom de la première sous-commission, par M. Perrier, inspecteur général des ponts et chaussées, rappelle tout d'abord les avantages agricoles et industriels attachés au développement des canaux d'irrigation et à l'utilisation des chutes d'eau.

Ce rapport expose que l'irrigation procure en moyenne un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare;

Que le colmatage peut aussi procurer une plus-value foncière d'au moins 2,000 francs et même bien supérieure à ce chiffre si cette opération est suivie d'irrigation ;

Que l'accroissement de revenu résultant de la submersion pour les vignes atteintes du phylloxera est d'environ 500 francs par hectare, et que l'on peut juger des services que peut rendre cette opération dans le Midi, où 150,000 hectares de vignes, situées dans des plaines, sont déjà détruites par la maladie;

Qu'au point de vue des chutes d'eau, la force hydraulique ainsi obtenue coûte moins du quart que celle obtenue par l'emploi de la vapeur;

Que la quantité d'eau utilisée pour ces divers emplois est inférieure au dixième du débit total des cours d'eau du territoire, sans compter encore que l'eau, descendant de grandes hauteurs, peut être utilisée plusieurs fois.

Le rapport examine ensuite les causes du peu de développement qu'ont reçu les irrigations en France et les moyens d'y remédier.

Ce qui a rendu jusqu'à présent fort difficiles les grandes entreprises d'irrigation concédées à des compagnies, c'est la lenteur avec laquelle les irrigations se sont développées dans les périmètres à desservir, soit à cause des dépenses à faire pour mettre les terres à l'arrosage, soit aussi, et surtout, parce que les canaux secondaires et les petites rigoles destinées à porter l'eau en tête des propriétés font défaut.

La Commission a reconnu que le seul moyen efficace pour déterminer les capitaux à se porter dans ces utiles entreprises, consiste en une garantie d'intérêt accordée par l'État suivant le mode qui a été appliqué pour la construction des chemins de fer. Elle a entendu, de plus, que dans les ouvrages de premier établissement seraient compris non seulement le canal général de conduite et les branches principales, mais encore tous les canaux secondaires et rigoles nécessaires pour porter ces eaux en tête des propriétés à desservir, condition essentielle pour que les irrigations puissent se développer rapidement.

Il a enfin paru à la Commission que, nonobstant la garantie de l'État, les revenus d'un canal pourraient être jugés dans bien des cas insuffisants, pendant un assez grand nombre d'années, pour rémunérer les capitaux à engager dans la construction et que, quand ces circonstances se présen-

teront, une subvention pourra être accordée pour la dépense de premier établissement.

Je cite textuellement ces divers passages du rapport à cause de l'importance exceptionnelle de cette proposition, qui tend à assurer aux entreprises d'irrigation un concours vraiment efficace et à les classer définitivement parmi les grandes œuvres d'utilité publique.

Passant ensuite aux concessions accordées aux associations syndicales, le rapport fait ressortir les causes qui rendent également, dans les conditions actuelles, ces sortes d'entreprises fort difficiles.

Les propriétaires, même les mieux disposés, hésitent à prendre des engagements dont ils ne peuvent pas prévoir bien exactement les charges.

De plus, comme la loi du 21 juin 1865 qui régit les associations syndicales, ne donne pas droit de coercition, il arrive que beaucoup de propriétaires refusent de s'associer dans l'espoir de profiter, sans supporter aucune charge, des eaux d'infiltration ou de colature, et, en tous cas, de la plus-value inévitable qu'acquièrent tous les terrains compris dans le périmètre desservi par le canal. Il arrive alors que ces abstentions découragent les promoteurs de l'entreprise.

C'est cette considération qui avait fait demander, par M. de Ventavon, que les syndicats d'irrigation fussent assimilés à ceux pour lesquels le concours de tous les intéressés peut être rendu obligatoire.

Mais cette opinion, bien que vivement soutenue par beaucoup de membres, n'a point été admise. La Commission a préféré accorder à ces associations des subventions, et des garanties qui, en écartant l'aléa de leurs entreprises, ont paru devoir assurer l'adhésion volontaire d'un nombre suffisant d'intéressés.

En outre de ces dispositions principales, le rapport de la sous-commission indique encore les mesures suivantes :

Faciliter les prêts à faire aux propriétaires pour les dépenses de la préparation des terres à l'arrosage, ainsi qu'on l'a fait par la loi du 17 juillet 1856 pour le drainage, et simplifier les formalités de cette loi pour en rendre l'application plus facile;

Accorder aux propriétaires la faculté d'employer les eaux qui leur sont concédées dans toute l'étendue de leurs domaines, sans avoir à désigner d'avance les parcelles qu'ils se proposent d'irriguer;

Autoriser les concessionnaires à accepter dans des cas spéciaux, et notamment pour les fermiers, des engagements à court terme;

Donner aux Sociétés concessionnaires, pour l'expropriation des terrains nécessaires à l'exécution des canaux principaux, les facilités consenties en faveur des associations syndicales et, pour l'établissement des canaux secondaires et des petites rigoles, autoriser l'occupation des terrains à titre de simple servitude de passage;

Exonérer les arrosants pendant vingt-cinq ans de toute augmentation de contribution foncière;

Étendre les servitudes et droits d'appui aux associations de propriétaires et aux concessions d'eau pour les usages domestiques.

Accorder enfin le bénéfice de toutes ces dispositions aux entreprises de colmatage et de submersion des vignes.

Ces diverses résolutions, dont l'examen et la discussion n'ont pas tenu moins de vingt-quatre séances, présentent dans leur ensemble une importance considérable; elles ne peuvent manquer d'exercer une influence marquée sur le développement des entreprises d'irrigation.

Je m'étendrai moins longuement sur le rapport, cependant remarquable, présenté au nom de la Commission des desséchements par M. Chabrol, maître des requêtes au conseil d'État, parce que ce rapport traite principalement de dispositions législatives ayant pour but exclusif de faciliter les desséchements, et que la question qui nous occupe est surtout d'examiner le rôle et l'influence que peuvent avoir ces sortes d'opérations dans l'œuvre générale de l'aménagement des eaux.

Je dirai seulement que les résolutions adoptées par la Commission, principalement préoccupée de poursuivre et de compléter les travaux de desséchement, ont eu en vue de faciliter et d'encourager ces opérations au moyen de primes et de subventions, au besoin même par des mesures coercitives et d'en assurer l'achèvement par des travaux d'ensemble et des « éliminations par bassins et par grandes masses. »

Je ne ferai également que mentionner le rapport présenté par M. Hachette, auditeur au conseil d'État, sur l'alimentation des villes et l'utilisation des eaux d'égout.

Cette question ne se rattache qu'indirectement au problème général qui nous occupe; elle comporte d'ailleurs des développements dont l'exposé, même succinct, ne saurait entrer dans les limites étroites de cette communication.

Il convient cependant de signaler les mesures proposées dans le but de faciliter par des avances de fonds, des garanties d'intérêts et des droits d'expropriation, les travaux d'irrigation à l'eau d'égout. Parmi les divers procédés employés, ce système a, en effet, été considéré comme donnant les meilleurs résultats pour l'épuration des eaux et pour l'utilisation des matières fertilisantes qu'elles contiennent.

La question des inondations a fait l'objet de deux rapports : l'un, de M. Faré, ancien directeur des forêts, traite des inondations en pays de montagnes; l'autre, présenté par M. Sausey, auditeur au conseil d'État, est relatif aux inondations dans les plaines.

Le premier de ces rapports expose d'abord, avec grande raison, que : « C'est à leur source et par conséquent à la montagne qu'il faut com- « mencer l'étude des inondations et des mesures propres à y porter « remède. »

Passant ensuite aux moyens de préservation à employer, il établit que les gazonnements et les reboisements remplissent le double rôle de fixer les terres sur les pentes et de retenir des quantités d'eau considérables, et

que les barrages de retenue élevés dans le lit des torrents sont un auxiliaire puissant pour protéger leurs lits et retenir les matériaux qu'ils entraînent.

Quant aux cultures horizontales, aux dérivations et aux réservoirs, le rapport estime succinctement que ces divers systèmes ne peuvent comporter que des applications fort restreintes.

Les résolutions de la Commission ne portent, en conséquence, que sur les mesures législatives destinées à faciliter et à développer les opérations de reboisement et de gazonnement, considérées comme les seules efficaces.

Le second rapport, relatif aux parties inférieures des vallées et aux travaux de défense contre les rivières, énumère d'abord les divers systèmes employés pour la défense des propriétés contre les inondations et qui, d'après ce rapport, se réduiraient à quatre : les réservoirs, les digues insubmersibles, les digues submersibles et les déversoirs.

Le premier système est indiqué comme très dispendieux, peu efficace et d'une application exceptionnelle.

Le second soulève de graves objections; car « pour être à l'abri de toute « rupture, les digues doivent être construites avec un luxe de matériaux « qui en rend l'établissement très coûteux. »

Le rapport reconnaît qu'elles ont pour effet inévitable de relever beaucoup le niveau des crues; que, quand elles sont surmontées par les eaux, leur rupture survient presque toujours et que les désastres qui proviennent de l'irruption des eaux sont alors énormes.

Cependant, est-il ajouté, « ce système apparaît comme le seul prati- « cable. »

L'emploi des digues submersibles n'est signalé comme avantageux que dans les plaines où l'envahissement par les eaux ainsi que leur écoulement se produit lentement.

Les déversoirs ont en vue d'atténuer les dangers de rupture des digues et d'abaisser le niveau des eaux.

Suivent, à défaut de tout autre mode présumé de préservation, les résolutions relatives aux seuls systèmes en usage et les dispositions législatives paraissant les plus propres à en faciliter l'application et le développement.

Tels sont les points principaux sur lesquels ont porté les travaux de la Commission.

Cette vaste enquête a déjà mis en lumière une foule de questions intéressantes. Est-il permis pourtant d'émettre cette opinion que cet important travail n'est encore qu'un premier pas accompli dans l'étude et l'élaboration du problème général de l'Aménagement des eaux?

S'il a pu être utile, pour réunir toutes les connaissances acquises et tous les documents existants, de subdiviser d'abord le travail et de le partager entre plusieurs commissions, ce système n'a pas non plus été sans inconvénients et on reconnaîtra que certaines questions, encore douteuses, ne

pourront être résolues que par l'étude simultanée de toutes les conditions du problème.

Il en est une, par exemple, dont la Commission n'a pas cru devoir s'occuper, celle de la législation même qui règle l'usage des eaux des cours d'eau non navigables ni flottables.

Il faudra bien cependant y revenir tôt ou tard, si l'on veut aborder d'une manière complète la question de l'aménagement des eaux de toute la portion du territoire où ne se rencontrent que des cours d'eau de cette nature.

D'après cette législation, l'usage des eaux appartient aux riverains à titre de droit inhérent à la propriété même. De sorte que, comme l'explique M. Daviel dans son traité sur les cours d'eau, toute disposition qui transmettrait les eaux à des propriétaires non riverains est absolument interdite, pour cette raison que ceux qui sont exposés aux inconvénients du voisinage des cours d'eau doivent seuls aussi en recueillir les avantages.

On voit tout de suite le désaccord de cette loi avec les principes exposés précédemment qui tendent, au contraire, à considérer les eaux dont dispose chaque territoire comme un élément de la richesse commune dont il convient de régler l'emploi au profit de tous. Telle est d'ailleurs, dans le Piémont et dans la Lombardie, la base de la loi d'après laquelle toutes les eaux sont considérées comme appartenant au domaine public.

De cette législation, dit M. Mauny de Mornay, il résulte, dans ces contrées, l'emploi le plus complet et le plus rationnel de toutes les eaux naturelles. Le privilège accordé en France aux riverains se réduit d'ailleurs, pour la plupart d'entre eux, à un droit à peu près illusoire, car chaque propriétaire, pour irriguer sa parcelle, aurait généralement besoin de dériver l'eau, plus haut en amont, sur une rive qui n'est plus la sienne. Il en résulte que la plus grande partie des eaux coule et se perd sans profit pour personne.

Il est vraiment curieux de voir avec quel soin les législateurs, animés cependant, sans aucun doute, des meilleures intentions, ont veillé à ce que le bienfait des irrigations ne s'étende pas au delà de l'étroite bande des parcelles riveraines.

Il faut se reporter aux discussions auxquelles donna lieu la loi du 29 avril 1845 sur le droit d'aqueduc, pour se rendre compte de l'espèce d'effroi avec lequel on envisageait alors les facilités que cette loi pourrait donner pour dériver l'eau des rivières.

Lorsqu'on demandait, à la Chambre, si le droit d'aqueduc allait permettre à un propriétaire possédant une petite parcelle riveraine d'arroser une terre plus étendue située à distance du cours d'eau, on protestait de toutes parts contre une pareille interprétation. Comment admettre un seul instant, disait-on, que la possession de quelques mètres de rive puisse donner le droit « de saigner le cours d'eau à sa fantaisie »? On considérait que cette faculté serait « subversive » du principe du Code civil qui, en n'accordant l'usage des eaux qu'à charge de restitution à chaque riverain successif « les

« attribue exclusivement aux propriétés qui sont dans la vallée et que le « cours d'eau parcourt. »

Aussi, l'éminent rapporteur de la loi, M. Dalloz, dut-il déclarer à plusieurs reprises que le droit d'aqueduc ne changerait rien à la législation en vigueur, laquelle « interdit de conduire le moindre superflu des eaux dispo- « nibles en dehors de la parcelle riveraine. »

On demandait plus encore. Quelques-uns prétendaient que le droit à l'arrosage devait être limité « aux seuls champs qui se trouvaient au contact « immédiat avec les cours d'eau au moment où parut le Code civil, à « l'exclusion de toutes parcelles adjacentes qui auraient pu, depuis cette « époque, y être attachées et les agrandir. »

On entendait enfin que chaque propriétaire ne pût user de la faculté d'aqueduc, qu'à la condition de ne pas prendre une quantité d'eau plus grande que celle à laquelle lui donnait primitivement droit sa parcelle riveraine.

Au reste, ajoute Daviel, dans son commentaire de la loi, « toutes ces « hypothèses d'eau transportées de fonds riverains sur d'autres fonds, ve- « naient échouer devant la condition essentielle de l'article 644, d'après « laquelle le riverain ne peut user des eaux qu'à charge de les rendre à leur « cours ordinaire à l'issue de son fonds. »

Je me suis étendu à dessein sur ces diverses interprétations de la loi, car elles sont pleines d'enseignement.

Nous avons vu plus haut que la solution rationnelle du problème de l'aménagement des eaux consiste à retarder autant que possible leur chute dans le fond des vallées et à les dériver sur le flanc des coteaux, de façon à les répandre sur les terres élevées et à ne les rendre à leurs lits naturels qu'après les avoir méthodiquement employées à tous leurs usages agricoles et industriels.

J'ai cherché à démontrer que ce système, loin de diminuer le débit des cours d'eau, était au contraire destiné à le régulariser à cause des infiltrations qui reviennent sans cesse les alimenter, et que ce mode de distribution des eaux aurait ainsi pour effet d'améliorer la situation des riverains et d'atténuer le danger des inondations. Qu'a fait la législation ? Elle a travaillé dans un sens tout opposé.

En attachant exclusivement les eaux des rivières aux rives mêmes de leurs lits, elle a fait cause commune avec les forces aveugles de la nature, qui tendent incessamment à précipiter les eaux dans le fond des vallées en dépouillant le sol de ses parties les plus fertiles.

Ainsi donc, en résumé, la législation, s'inspirant sans doute d'anciens privilèges, attribue aux riverains l'usage exclusif des eaux ; mais ce droit, dans l'état actuel de division du sol, est presque toujours illusoire, de sorte que les eaux ainsi inutilisées, et cependant inaliénables, coulent alors sans profit pour personne, et que, forcées de passer dans l'unique et étroit passage que la loi leur assigne, elles produisent des crues dont il faut alors se défendre.

C'est ainsi que le privilège qu'on avait voulu accorder est devenu un danger et que la loi, intervenant de nouveau, a dû forcer les riverains à élever des ouvrages pour garantir les vallées de ces mêmes eaux qu'on appelle alors *nuisibles*, tandis qu'elles pourraient porter la fécondité et la richesse sur d'autres territoires.

On voit, par cet exemple, à quel point toute conception générale d'un aménagement rationnel des eaux a fait défaut, dans l'élaboration des règlements qui régissent cette importante matière, et combien il est important d'étudier d'abord les lois naturelles avant de chercher à codifier des règlements.

Il convient d'ajouter toutefois que la pratique est venue tempérer, dans certains cas, ce que les prescriptions législatives avaient de trop rigoureux. Ainsi, M. de Passy, dans sa remarquable « Étude sur le service hydraulique », interprète l'article 644 du Code civil en disant que les riverains ne possédant qu'une rive ne peuvent détourner les cours d'eau ou s'en servir pour l'établissement d'usines, que ce droit n'appartient qu'à ceux qui possèdent les deux rives, mais qu'ils ne sont pas obligés, comme ces derniers, de rendre l'eau à la sortie de leur fonds.

Également, certains canaux d'irrigation dérivés de cours d'eau non navigables ni flottables ont été concédés à des compagnies ou à des syndicats, bien que des engagements écrits n'aient pas été obtenus préalablement de tous les intéressés.

Il n'est pas moins vrai que la législation qui règle ces diverses questions est pour le moins fort confuse et qu'elle n'est nullement de nature à encourager les entreprises d'irrigation.

Des considérations analogues peuvent être présentées au sujet des desséchements et de la guerre à outrance qui a été poursuivie contre les étangs sous prétexte d'insalubrité.

La santé publique est une question qui domine assurément toutes les autres considérations; mais s'est-on rendu compte des causes qui peuvent rendre les étangs insalubres? Les étendues d'eau ne sont malsaines que par leurs pourtours marécageux. A ce point de vue, beaucoup de petites rivières offrent le même caractère. On ne peut cependant pas tout mettre à sec. La législation s'emparant de cette question, sans se préoccuper du rôle que ces réservoirs naturels pouvaient jouer dans le régime général des eaux, édicta pour le desséchement des étangs des règlements si absolus, qu'il fallut souvent employer la force pour les faire exécuter. On conçoit que ces mesures appliquées avec une hâte peu réfléchie aient pu concourir encore, dans une certaine mesure, à accélérer la chute des eaux dans le thalweg des rivières.

Il est bien certain que dans les conditions de plus en plus mauvaises où se trouvent les parties élevées du territoire qui, sous la double influence des lois naturelles et des prescriptions du Code, voient toutes réserves d'eau leur échapper, on soit conduit à utiliser les seules parties où existent encore des conditions convenables d'humidité et que, sous ce rapport, il y

ait profit pour quelques propriétaires à dessécher leurs étangs dont le fond est généralement en terre fertile. Mais, en même temps que ces dessèchements, devraient être entrepris des travaux ayant pour but d'aménager autrement les eaux que ces mêmes étangs tenaient primitivement en réserve; c'est à cette condition que ces opérations de dessèchements d'étangs, surtout quand elles sont entreprises sur une grande échelle, peuvent offrir tous les avantages locaux qu'elles comportent, sans exercer de mauvaise influence sur le régime général des eaux.

On fait également fausse route en cherchant exclusivement dans l'approfondissement, le rétrécissement ou la rectification du lit des rivières, les moyens d'améliorer le service de la navigation, jaloux, bien à tort, des moindres prises d'eau faites au profit de l'agriculture.

Toutes ces contradictions proviennent de ce que l'on cherche toujours à résoudre ces diverses questions isolément, sans les rattacher les unes aux autres.

L'agriculture, la navigation, les usines hydrauliques, souffrent tour à tour de manque ou d'excès d'eau.

De là, sans doute, cette distinction entre les eaux utiles et les eaux dites nuisibles.

Mais comme, faute d'un système général d'aménagement des eaux, on ne peut augmenter, dans chaque cas particulier, la quantité des eaux utiles, il est arrivé qu'en cherchant partout à se débarrasser des eaux appelées nuisibles, la masse totale des eaux utiles est elle-même allée sans cesse en diminuant.

C'est ainsi que l'on entend dire souvent qu'il n'y a plus d'eau pour l'agriculture, que toutes les quantités disponibles sont nécessaires à la navigation et aux usines.

On range les eaux surabondantes qui coulent dans certaines saisons parmi les eaux nuisibles, de sorte que les eaux utiles se réduisent aux eaux d'étiage, presque nulles dans beaucoup de cours d'eau.

Il convient encore d'ajouter que la loi, en considérant les eaux réputées nuisibles comme un danger commun et les eaux utiles comme un bien particulier dont chacun est libre de tirer profit, a réservé exclusivement son concours aux travaux de défense contre les premières et abandonné aux seuls efforts individuels le soin d'utiliser les autres.

Il en résulte que ce sont précisément les entreprises ayant en vue de tirer parti des eaux, qui ont été jusqu'ici le moins encouragées.

La loi du 21 juin 1865 sur les associations syndicales a consacré ces principes, en livrant aux initiatives individuelles les travaux où l'eau est considérée comme un *auxiliaire*, et en donnant aux majorités le droit de coercition pour ceux où l'eau est traitée en *ennemi*.

Telle est la situation faite aux entreprises d'irrigation; il faut s'étonner seulement que, dans de pareilles conditions et au milieu de tant de difficultés, quelques travaux de ce genre aient encore pu être exécutés.

Une modification à cet état de choses était bien nécessaire, car l'expé-

rience a montré que les entreprises d'irrigation, qui embrassent souvent de grandes étendues de territoire, ne peuvent être l'œuvre des seuls efforts privés, et qu'elles méritent au plus haut titre la sollicitude de l'État.

C'est ce qu'a compris la Commission supérieure de l'aménagement des eaux en proposant d'accorder à ces sortes d'entreprises, d'une utilité reconnue, le concours efficace de subventions et de garanties d'intérêt.

Jusqu'à présent, les entreprises de canaux d'irrigation n'avaient obtenu que des subventions plus ou moins importantes, ordinairement limitées au tiers de la dépense présumée des travaux de premier établissement, de sorte que les compagnies concessionnaires devaient se procurer elles-mêmes le reste du capital, à des conditions forcément onéreuses. De plus, on ne comprenait souvent dans l'évaluation des dépenses que les canaux principaux, laissant au compte des propriétaires l'établissement des canaux et rigoles de distribution. Ceux-ci, déjà chargés des frais de préparation du sol dans les champs à irriguer, hésitaient à prendre des engagements. C'est ainsi que certaines compagnies ont succombé, avec des entreprises qui, pourtant, devaient être fructueuses.

La garantie d'intérêt à accorder à la portion du capital que devront se procurer les compagnies concessionnaires, mettra celles-ci dans une situation toute différente, surtout avec cette condition que l'eau sera amenée en tête de chaque propriété.

Ces compagnies pourront également offrir aux propriétaires de leur prêter les sommes dont ils ont besoin pour la préparation de leurs terres, et ces prêts, qui n'auront pas besoin de la garantie hypothécaire du moment que leur amortissement pourra être perçu en même temps que les redevances et au même titre que les contributions foncières, constitueront une nouvelle opération des plus importantes et bien plus profitable que les prêts hypothécaires ordinaires.

Il n'est donc pas exagéré de dire que le mode de concours, de subvention et de garantie d'intérêt proposé par la commission supérieure, et qui est semblable à celui qui a permis d'exécuter notre réseau de chemins de fer, est de nature à offrir à l'industrie privée une nouvelle carrière des plus fécondes pour l'emploi de ses capitaux et de son activité.

Telle est l'œuvre principale de la Commission supérieure.

Bien des points, sans doute, restent encore à élucider et la question générale devra vraisemblablement être reprise, non plus en la scindant en plusieurs parties, mais en l'étudiant dans son ensemble et par portions de territoire.

On reconnaîtra, par exemple, que le développement des voies navigables ne saurait être séparé de la question générale de l'aménagement des eaux; que l'amélioration du régime des rivières est étroitement liée à un plus large emploi des eaux pour l'agriculture; que les opérations de dessèchement et d'assainissement doivent être combinées avec des travaux ayant en vue l'utilisation des eaux superflues ou nuisibles; que les systèmes purement défensifs contre les eaux surabondantes et contre les inonda-

tions manquent généralement leur but et qu'ils privent en même temps l'agriculture et l'industrie de ressources qui leur seraient précieuses. Ce n'est qu'après avoir étudié avec soin et simultanément ces diverses questions, toutes solidaires les unes des autres, que l'on pourra utilement faire appel au concours des jurisconsultes sans risquer d'aggraver encore, par de nouveaux règlements, l'espèce d'antagonisme des divers intérêts en présence.

Quoi qu'il en soit, et malgré le regrettable état de division où restent encore toutes ces questions, un fait important s'est produit. La question de l'aménagement des eaux, trop longtemps négligée, est enfin mise à l'ordre du jour. L'espèce d'oubli où elle est restée pendant les trente ou quarante ans qui viennent de s'écouler n'a d'ailleurs rien qui puisse surprendre; car, pendant ce temps s'est accomplie la plus grande œuvre industrielle des temps modernes, la construction des chemins de fer, et cette œuvre immense a absorbé à elle seule toutes les forces disponibles de chaque nation civilisée, en même temps qu'elle a donné à la fortune publique et à l'activité industrielle, un développement inconnu jusqu'alors. Les résultats obtenus ont même été si rapides et si considérables que, prenant l'effet pour la cause, on a attribué aux chemins de fer la création même de ces richesses, qu'ils mettaient seulement en valeur et dont ils n'étaient que la mesure.

Aussi, a-t-on eu hâte dans chaque pays d'étendre de plus en plus leur réseau. Cet entraînement inévitable semble ne pas être encore arrivé à son terme. On oublie que les moyens de transport, s'ils mettent en valeur les produits du sol, sont impuissants à les créer. Instruments précieux quand les produits surabondent, ils deviennent une charge quand ils manquent d'aliment. C'est ainsi qu'après avoir obtenu les plus brillants résultats sur les premières lignes construites, on voit le trafic des nouveaux chemins devenir de plus en plus insuffisant.

A ce point de vue, l'extension considérable que l'on projette de donner aux réseaux existants, n'est pas sans danger pour le pays qui aurait besoin de voir son épargne autrement employée. Ce danger est encore accru par la tendance actuelle à retirer systématiquement ces entreprises à l'initiative privée, qui serait cependant mieux en mesure que l'État d'en apprécier l'opportunité, et d'en proportionner la dépense aux besoins à satisfaire. M. Émile Level, dont la compétence en ces matières est bien connue, a fait ressortir avec beaucoup de force, dans un écrit récent, le véritable péril que présente ce système, dont le moindre inconvénient est de désintéresser chacun dans des dépenses qu'il ne peut ni prévoir ni contrôler et qu'il n'a nul intérêt à restreindre, du moment qu'elles doivent être supportées par la masse collective et inconsciente de l'impôt.

D'ailleurs, si de nouvelles voies de communication sont encore nécessaires, ce sont surtout celles qui peuvent fournir des transports à bon marché; car, encore une fois, c'est à augmenter la production du sol que doivent tendre tous les efforts, et l'agriculture aussi bien que l'industrie

souffrent grandement des prix élevés que leur demandent les chemins de fer pour le transport de leurs produits et des matières premières dont elles ont besoin.

Les canaux, qui pourraient sous ce rapport rendre de si éminents services, sont encore aujourd'hui dans un état misérable.

Notre éminent collègue M. Molinos a décrit, dans un ouvrage justement estimé, l'état où est tombée notre batellerie.

La sollicitude de l'État ne pourrait-elle s'exercer plus opportunément et de préférence sur cette branche si intéressante de notre circulation intérieure, qui, encore peu développée, a, plus que les chemins de fer, besoin de son concours?

Ainsi donc, même au point de vue exclusif des transports, apparaît la nécessité de développer et d'améliorer le réseau de nos canaux, et, comme nous l'avons vu, cette question se rattache à la solution générale de l'aménagement des eaux.

La Commission supérieure, bien que n'ayant point eu à s'occuper des voies navigables, aura contribué indirectement à en faciliter l'amélioration par ses résolutions relatives à un plus large emploi des eaux en faveur de l'agriculture.

Le double concours de subventions et de garanties d'intérêt demandé par la Commission, et qui ne peut manquer d'être sanctionné par les pouvoirs publics, est de nature à encourager les initiatives privées, et à ouvrir un vaste champ à tout un ensemble de recherches, d'études et de travaux féconds.

Parmi les entreprises les plus importantes et les plus urgentes, on peut citer le grand canal d'irrigation du Rhône, dont l'exécution, si impatiemment attendue par les populations du Midi de cette vallée, est aujourd'hui décidée et sera certainement très prochaine.

Deux solutions principales sont en présence pour ce vaste projet. L'une d'elles, celle de M. Aristide Dumont, à qui revient l'honneur d'avoir eu l'idée première de cette œuvre considérable, consistait à établir la prise d'eau sur la rive gauche, en amont de l'Isère, et à faire franchir ensuite le Rhône, par un immense siphon de 70 mètres de hauteur.

Le projet ainsi conçu, a fait naître diverses objections auxquelles il faut attribuer les retards qu'a subis la réalisation de l'œuvre. On a craint qu'une prise d'eau de 40 ou 50 mètres cubes par seconde, faite en amont des points où le tirant d'eau du Rhône est déjà très faible, ne compromette le succès des travaux projetés dans cette partie du fleuve pour y améliorer la navigation. On a bien proposé de réduire le volume de la prise d'eau et d'emprunter à l'Isère le complément du débit prévu, mais il se trouve que les eaux de cet affluent ne sont pas réputées de bonne qualité pour des emplois agricoles.

On a objecté, enfin, le long parcours inutilisé du canal sur la rive gauche, la nécessité de traverser la vallée par un siphon, et le coût énorme de l'ensemble de ces travaux.

L'autre solution, qui est tout entière sur la rive droite, paraît devoir échapper à ces diverses critiques. La prise d'eau faite en aval de l'Isère et de la Drôme, ne peut plus nuire à la navigation du Rhône, grossi en ce point par ces deux affluents. — Le niveau de la prise étant d'ailleurs suffisant pour que les eaux puissent être amenées sur les territoires à arroser, ce tracé de canal présente le double avantage de supprimer le siphon et de satisfaire aux mêmes besoins d'une manière plus directe et plus sûre, et avec un parcours beaucoup moindre.

Un examen comparatif des deux projets doit encore être fait, mais il y a lieu de supposer que cette seconde solution sera finalement adoptée, avec quelques canaux spéciaux pour la rive gauche.

Les principes posés par la Commission vont donc pouvoir trouver une application immédiate dans la réalisation de cette grande œuvre, qui est appelée à répandre la fertilité sur toute une contrée, et qui pourra servir de point de départ pour beaucoup d'autres entreprises de ce genre.

C'est en rendant ainsi à l'agriculture de vastes ètendues de terrain aujourd'hui stériles, et en apportant à ceux qui sont cultivés une plus grande fertilité; en augmentant, en un mot, la production du sol, que l'on pourra donner un nouvel et durable essor à l'activité et à la richesse nationales, remédier à la crise dont souffrent l'agriculture et l'industrie, ainsi qu'à la dépopulation des campagnes, que les habitants désertent pour aller chercher ailleurs de meilleurs salaires.

Il y a dans cette voie une véritable conquête du sol à entreprendre, en substituant au régime barbare et indiscipliné des eaux, un emploi rationnel de cet élément, qui constitue la véritable richesse de chaque territoire.

Cette œuvre intéresse au plus haut degré l'économie du globe et la prospérité de tous les pays.

Je terminerai cette étude en vous donnant lecture, à titre de conclusion, du vœu que j'ai présenté à la Société des Agriculteurs de France, à la session de cette année, ainsi conçu :

La Société des Agriculteurs de France, considérant :

Que la production agricole de notre territoire, principalement en céréales et en bestiaux, est de plus en plus insuffisante pour nos propres besoins;

Que notre déficit, pour ces seuls produits, dépasse annuellement un demi-milliard de francs;

Que ces produits, achetés à l'étranger, arrivent sur nos marchés à des prix qui, dans beaucoup de localités, rendent la lutte des plus difficiles;

Que cette concurrence, qui grandit chaque jour par suite de l'abaissement du coût des transports à grandes distances, surtout des frets maritimes, en rendant l'exploitation agricole de notre sol de moins en moins rémunératrice, amène dans certaines contrées le découragement et la ruine des cultivateurs;

Que la dépopulation des campagnes, qui est la conséquence de cet état de choses, entraîne, par la raréfaction de la main-d'œuvre, une augmenta-

tion de salaires qui aggrave encore les périls de notre industrie agricole;

Que l'on ne saurait remédier à une pareille situation au moyen de tarifs protecteurs, qui auraient le double inconvénient d'augmenter la cherté de la vie et d'être en contradiction avec l'inévitable développement des relations internationales;

Que, ne pouvant ni augmenter le prix de vente des produits et denrées de première nécessité, ni diminuer celui de la main-d'œuvre, le seul remède à la crise actuelle consiste à produire à meilleur marché, c'est-à-dire à augmenter le rendement de notre sol;

Que les ressources de notre territoire, si nous savons en tirer parti, peuvent nous permettre de soutenir la lutte avec les produits étrangers que grèvent toujours des frais de transport plus ou moins onéreux ;

Qu'il s'agit, en conséquence, de chercher par tous les moyens à développer la puissance productive de notre territoire;

Qu'il y a, dans cet ordre d'idées, un immense parti à tirer d'un meilleur et plus large emploi des eaux, dont d'énormes masses vont se perdre inutilement dans la mer;

Que l'irrigation procure, en effet, un accroissement de revenu net qui atteint et dépasse parfois deux cents francs, et une plus-value foncière souvent supérieure à quatre ou cinq mille francs par hectare, tandis que les contrées où elle fait défaut, et où n'existent pas des conditions naturelles d'humidité, se dépeuplent et tombent dans la misère;

Que, notamment, les portions du territoire, ruinées par le phylloxera et par d'autres maladies, ne peuvent, faute d'eau, recourir à d'autres cultures;

Qu'il est indispensable d'augmenter l'étendue de nos prairies pour accroître notre production de bétail;

Que les eaux disponibles peuvent suffire à fertiliser plusieurs millions d'hectares;

Qu'il convient, en conséquence, d'utiliser non plus seulement les eaux d'étiage, mais aussi et surtout celle des crues plus abondantes et plus riches en principes fertilisants;

Que l'œuvre à entreprendre est de distribuer rationnellement ces eaux, considérées comme la véritable richesse du territoire, en les prenant là où elles sont surabondantes et nuisibles, pour les porter sur les points où elles sont un élément de fécondité, de telle sorte que les bienfaits de leur meilleure utilisation s'étendent sur tout le pays;

Qu'un pareil aménagement des eaux peut être obtenu, sur une grande partie du territoire, au moyen d'une canalisation supérieure retenant et dérivant les eaux qui tombent sur les terrains peu perméables pour les amener sur les plateaux et les faîtes de partage, de façon à former un vaste appareil d'irrigation dont les rivières actuelles ne soient plus que les canaux d'égouttement;

Que les nombreux canaux à construire constitueront de véritables réser-

voirs permettant d'emmagasiner une portion notable des eaux surabondantes qui produisent les inondations;

Que ces canaux fourniront des eaux courantes et salubres à la plupart des localités; qu'ils donneront naissance à de nombreuses forces hydrauliques mises ainsi à la portée des divers centres de population au profit de beaucoup d'industries; qu'ils permettront enfin d'assurer l'alimentation des canaux de navigation et de développer ce mode si économique de transport, celui dont il y a le plus pressant besoin pour les matières premières, les amendements agricoles, et toutes les marchandises lourdes;

Que les travaux à exécuter pour l'accomplissement d'un pareil ensemble et d'une telle œuvre, se groupent naturellement par bassins principaux et secondaires;

Que les plus importants de ces travaux ne sauraient être l'œuvre d'efforts privés ni même d'initiatives départementales, à cause de l'étendue même des régions intéressées et de la rémunération nécessairement tardive de ces sortes d'entreprises;

Que ces travaux, intéressant au plus haut point la richesse du sol et la prospérité nationale, doivent être considérés comme étant, au premier chef, d'utilité publique et qu'ils méritent à ce titre le concours et l'assistance de l'État, si largement accordés aux voies de communication;

Qu'une nouvelle extension de notre réseau des chemins de fer ne saurait amener un soulagement sensible aux souffrances actuelles de l'agriculture, et que le moment est venu de penser à la production elle-même;

Que l'augmentation de la richesse de la population agricole, qui est la plus nombreuse, aura en même temps pour conséquence de donner un nouvel essor aux diverses industries du pays;

Que cette œuvre, enfin, de l'aménagement des eaux, considérée à ses divers points de vue de l'agriculture, de la navigation, des usines hydrauliques et du régime général des rivières, s'impose aujourd'hui comme une nécessité pressante, qu'elle est seule de nature à remédier aux difficultés actuelles, et que la détresse où se trouvent beaucoup de contrées exige l'exécution, d'urgence, d'un pareil ordre de travaux qui sont, sur certains points du territoire, non pas seulement d'utilité publique, mais même une œuvre de salut;

Émet le vœu :

Que des Commissions spéciales soient immédiatement constituées pour chacun des quatre grands bassins de la France, sous la haute direction de la Commission supérieure instituée auprès du ministre des Travaux publics;

Que ces Commissions reçoivent la mission de rechercher, sur la surface de leur région, l'ensemble des opérations qui se présentent dans des conditions d'importance et de réussite convenables, de façon à dresser, comme des commissions analogues l'ont fait pour les voies de communication, l'inventaire méthodique des améliorations à poursuivre dans l'aménagement et l'utilisation des eaux;

Que ce travail soit fait assez rapidement, pour que les projets reconnus les plus urgents puissent être présentés et discutés aux Chambres en même temps que les autres œuvres d'utilité publique, et qu'ils prennent ainsi leur rang dans l'ensemble des travaux projetés dans le pays;

Que, en attendant l'élaboration complète de cette vaste enquête, le gouvernement mette immédiatement à exécution les divers canaux déjà étudiés et réclamés avec instance par les populations, notamment dans la vallée du Rhône;

Qu'à cet effet, il n'attende plus l'accord préalable de propriétaires, qui, tout disposés à payer leurs redevances, mais trop souvent trompés dans leur attente, hésitent à s'associer entre eux ou à contracter des engagements avant que l'eau ne soit amenée à leur champ;

Qu'il reconnaisse à ces travaux le caractère d'utilité publique, et qu'il leur accorde, sous forme de subvention et de garantie d'intérêt, le concours indispensable à leur réalisation et qui est pleinement justifié par les avantages qu'ils assurent à l'État et au pays tout entier.

Me voici, messieurs, au bout de cet exposé, déjà long peut-être, et cependant bien incomplet si je considère tous les développements que j'ai dû omettre ou abréger. Mon but se bornait à vous soumettre quelques considérations générales sur cette question si importante de l'aménagement des eaux qui, au point de vue qui nous concerne plus spécialement, est peut-être appelé à ouvrir de nouveaux horizons à l'art de l'ingénieur.

Le génie civil, qui a su conquérir une place si brillante dans l'ensemble des grands travaux d'utilité publique accomplis depuis un demi-siècle, dans l'immense développement des chemins de fer et dans tous les progrès industriels de notre époque, ne restera pas au-dessous de sa tâche dans l'étude et la réalisation d'une œuvre également féconde pour la prospérité et la richesse de toutes les nations.

M. le Président remercie M. Cotard de son intéressante communication; à la demande générale des membres présents il est décidé que la suite de cette communication sera inscrite en tête de l'ordre du jour de la prochaine séance.

MM. Abernethy, Barlow, Bezy, Biéber, Brunlees, Combes, Delin, Herscher, Maroquin, Pirat, Sabon, Stevenson, Tweddell et Woods ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 21 Novembre 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la séance du 7 novembre est adopté.

Il est donné lecture de la lettre suivante de M. H. Thomasset :

« Monsieur le Président,

« J'étais absent de Paris à la dernière séance, et ne pouvant, à mon grand regret, assister à celle de demain, permettez-moi de vous présenter ces courtes observations, au sujet de la lettre de M. Barret, lue à la dernière séance.

« J'y relève cette conclusion : « *On peut donc dire que ce n'est pas la « résistance du personnel des gares de chemins de fer qui a retardé l'appli- « cation du système hydraulique dans les gares, mais bien les difficultés que « nous venons de signaler, et qui rendent ce mode d'exploitation plus coû- « teux que par les procédés ordinaires.* » Il semblerait donc que le système hydraulique n'a rien à voir dans l'amélioration du service des gares de chemins de fer. Telle n'a pu être, j'en suis convaincu, la pensée de M. Barret; mais, vu sa compétence en la matière, sa conclusion pourrait être présentée avec cette interprétation. Il importe donc de s'expliquer.

« Dans les gares de marchandises il y a de nombreuses opérations à faire, parmi lesquelles la circulation et le triage des wagons, leur transbordement, le chargement et le déchargement des marchandises occupent les places les plus importantes.

« On ne peut nier que les procédés mécaniques soient les plus appliqués et les plus économiques pour ces opérations, du moment qu'elles atteignent un certain chiffre; or, le système hydraulique possède aujourd'hui une telle variété d'engins qu'il peut parfaitement satisfaire à tous les cas. Que tel engin, que tel procédé, que la production de l'outillage d'un port ne soient pas applicables, cela peut être, cela est; mais le système hydraulique reste très applicable aux gares; le tout sera d'examiner, selon le lieu choisi, quels sont les engins qui conviennent le mieux. Que le chargement ou le déchargement des wagons se fasse à la main pour les petits colis, il restera toujours les marchandises lourdes, le triage, la circulation, le transport des wagons entiers d'une voie à l'autre sans aller sur plaque tournante, etc., et si l'on objecte que cela constituera des appareils disséminés dans un grand local, j'aurais pour m'appuyer cette autre conclusion de M. Barret : « *D'où je conclus, qu'en général, il y a un grand avantage à « se servir de l'eau sous pression pour tous les outils et engins disséminés sur « un grand espace, travaillant par intermittence, mais ne restant pas trop « longtemps inoccupés.* »

« Voilà qui est net et précis, et c'est là qu'il faut chercher l'avantage du système hydraulique. J'ai vu, avec énormément de soin, l'installation d'Anvers, et je ne crois pas qu'on puisse dire tout d'abord que la manutention de la gare des bassins doit être plus coûteuse qu'à bras d'homme. A-t-on mis en parallèle le coût du chargement ou déchargement avec la quantité de marchandises transportées par un même wagon à l'année? Si, grâce à cette rapidité surprenante, un même wagon transporte deux ou trois fois plus de marchandises à l'année, on peut avoir un matériel plus réduit et

mieux utilisé : cette dernière économie ne sera-t-elle pas plus forte que l'excédent de dépense cité plus haut, si réellement il existe ? Ce n'est là, du reste, qu'un côté de la question, et je le montre pour dire, une fois de plus, que dans la question du matériel des gares il faut analyser et voir ensuite l'ensemble des avantages et des inconvénients de chaque cas particulier, sans se hâter de décider que, du moment où tel engin aurait donné un mauvais résultat, par suite d'erreur d'application, le système hydraulique ne saurait s'appliquer à la manutention mécanique des gares.

« Je me résume donc en disant que la manutention mécanique des gares peut parfaitement se faire par le système hydraulique : la solution rationnelle et économique consiste à adopter des engins différents de ceux des ports, il est vrai, dans la plupart des cas, mais le système n'en reste pas moins le même.

« Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc., etc. »

M. le Président annonce qu'il a reçu une lettre de M. H. Hersent, rappelant qu'au mois de mai de l'année dernière, il a remis à la Société une notice et des plans concernant la construction de deux bassins de radoub, à Toulon, d'après une combinaison nouvelle de caissons métalliques de 5,800 mètres de surface, protégeant la maçonnerie pendant la construction et permettant l'emploi de l'air comprimé pour le nettoyage absolu du sol, et la confection des maçonneries inférieures entre le sol et celles déjà exécutées dans la partie supérieure.

En ce moment, le premier des deux bassins de radoub a été posé avec succès sur le sol, lorsqu'il contenait environ 100,000 tonnes de charge en maçonnerie (plus de 40,000 mètres cubes) ; le nettoyage du sol sur lequel repose la construction, à 18 mètres de profondeur sous l'eau, a pu être fait convenablement, et le remplissage des chambres de travail à l'air comprimé sera bientôt terminé.

Le second bassin de radoub flotte avec une charge de 10,000 mètres cubes de maçonnerie, qui doit arriver jusqu'à 40,000 mètres cubes avant de toucher le sol.

M. Hersent serait heureux que des membres de la Société voulussent bien visiter ses travaux, qui marquent un progrès très important sur ce qui a été fait jusqu'alors.

M. Cotard a la parole, il explique que sa communication ayant été publiée dans le compte rendu de la dernière séance, chacun a pu en prendre connaissance. Il se bornera donc à reprendre son exposé d'une façon générale, en donnant quelques développements complémentaires.

M. Georges Dumont demande la parole pour répondre à quelques-unes des questions soulevées par M. Cotard, notamment en ce qui concerne la grande œuvre du canal d'irrigation du Rhône.

M. Georges Dumont constate, tout d'abord, qu'en parlant de ce canal, M. Cotard a annoncé sa prochaine exécution, qui est subordonnée à

l'adoption par les Chambres des conclusions du rapport de la commission parlementaire chargée de l'examen de cette affaire. Mais, d'après ce qui a été dit par notre honorable collègue, on pourrait croire que l'opinion de la commission n'est pas encore entièrement faite en faveur du projet étudié depuis si longtemps par M. l'ingénieur en chef Aristide Dumont, et que le tracé, proposé sur la rive droite, a de grandes chances d'être plutôt exécuté.

M. Georges Dumont fait observer qu'au contraire il suffit de lire attentivement le rapport, fait au nom de la commission parlementaire par M. Paul Devès, pour reconnaître que la question est aujourd'hui dégagée de toute incertitude et que c'est bien sur le projet de M. Aristide Dumont, avec sa prise d'eau élevée sur la rive gauche et le syphon de Mornas, que va se baser la concession, qui suivra de très près le vote de la loi déclarative d'utilité publique.

Il rappelle que le volume d'eau à dériver sera au total de 35 mètres par seconde, dont 10 mètres seront pris dans le Rhône aux Roches de Condrieux et 25 mètres dans l'Isère, au-dessus de Romans.

Il est inutile de renouveler une discussion relativement à la gêne qui peut résulter, pour la navigation du Rhône, d'un prélèvement de 10 mètres aux Roches de Condrieux; la question a été résolue dans un sens favorable au Canal. Mais il importe de détruire les deux objections fondamentales faites par M. Cotard au tracé de la rive gauche. Ce tracé s'impose par l'obligation d'irriguer toutes les plaines de cette rive, c'est-à-dire une étendue de terrain considérable, et de plus par la nécessité de faire la prise d'eau à une cote suffisamment haute pour permettre l'irrigation des plaines méridionales dans des conditions convenables.

Tout le monde sait, en effet, qu'un canal d'irrigation doit avoir une pente d'au moins 25 à 30 centimètres par kilomètre, afin de maintenir la section dans des dimensions raisonnables, et de donner à l'eau une vitesse suffisante pour éviter les dépôts. C'est ainsi que la pente du canal de Marseille ne descend jamais au-dessous de 30 centimètres par kilomètre. Il en est de même des canaux du Verdon, de la Bourne, etc. Si on considère les canaux italiens, on y trouve des pentes bien plus considérables encore; un seul d'entre eux, le canal de Pavie, présente une pente moindre; mais, le canal de Pavie n'est pas, à proprement parler, un canal d'irrigation; c'est un canal de navigation, qui n'est utilisé que très accessoirement pour l'arrosage des terrains riverains. En raison de sa faible pente, qui descend en quelques points à 125 millimètres par kilomètre, ce canal, malgré ses grandes dimensions (car il a 12 mètres de largeur au plafond), ne peut débiter qu'un faible volume de 6 mètres cubes par seconde.

Ceci posé, si on examine le projet de canal mis en parallèle avec celui de M. Aristide Dumont, projet qui consiste à faire la prise d'eau au Pouzin, sur la rive droite du fleuve, on peut constater facilement qu'en cet endroit la cote d'étiage du Rhône est de 85 mètres. La cote du plafond du canal,

avec une profondeur d'eau de 2 mètres, ne pourrait être que de 83 mètres. De la prise d'eau à Nîmes, par la rive droite, il n'y a pas moins de 200 kilomètres. Or, en admettant la pente nécessaire de 25 centimètres par kilomètre (la pente moyenne du projet Dumont est de 266 millimètres), on ne pourrait arriver à Nîmes qu'à la cote de 43 mètres au plus, c'est-à-dire au niveau de la plaine.

On ne pourrait donc irriguer dans ce parcours les terres qui en ont le plus besoin, ni desservir les banlieues, ni donner des eaux continues, qui constitueront toujours la partie la plus fructueuse de l'opération. Et, plus on s'avance, plus la difficulté s'accroît.

En effet, sur les 60 kilomètres de Nîmes à Montpellier, il faudrait perdre encore au moins 15 mètres; on ne pourrait donc arriver à Montpellier qu'à la cote 28 mètres, c'est-à-dire au niveau de la gare du chemin de fer. Enfin, comme il y a au moins 80 kilomètres de Montpellier à Béziers, on ne pourrait atteindre cette ville qu'avec la cote 7 mètres.

M. Georges Dumont aurait encore à citer bien d'autres objections faites au projet de tracé préféré par M. Cotard; mais il pense que celles qu'il vient d'énumérer ont déjà une importance suffisante; il ajoutera donc simplement quelques mots pour détruire cette fausse opinion : que les eaux de l'Isère roulent avec elles un limon schisteux qui les rend impropres à l'arrosage.

Tous les agriculteurs de la vallée de l'Isère s'en servent très avantageusement pour l'irrigation de leurs terres; il existe, en effet, un rapport fort intéressant de M. Tournade, ingénieur en chef du département de l'Isère, qui constate que, du mois de mai au mois d'août, les eaux s'élèvent et conservent un débit de 350 à 450 mètres cubes au moins par seconde; que les eaux de l'Isère sont très bonnes pour les irrigations; qu'elles ne contiennent en moyenne, dans la période d'arrosage, que 0,35 en volume de matières en suspension, par 1000 mètres cubes d'eau; c'est le 1/3 seulement de la proportion des matières tenues en suspension par les eaux de la Durance. Enfin, le même ingénieur déclare que si, à l'aval de Grenoble, on n'irrigue pas avec l'Isère, cela tient uniquement à la disposition des lieux, les terrains qui bordent cette rivière ayant plutôt besoin de dessèchement que d'irrigation.

M. Georges Dumont ajoute qu'à l'aval de Saint-Marcellin, l'Isère coule dans une profonde tranchée, qui rend impossible toute dérivation latérale.

Tels sont les principaux faits que M. G. Dumont a cru devoir signaler à l'attention de la Société, afin de présenter l'affaire du canal du Rhône sous son jour véritable.

M. Cotard répond qu'il n'a pas entendu entrer dans une discussion technique comparative des deux projets du canal d'irrigation du Rhône. Ce serait enlever à sa communication le caractère général qu'il a voulu lui donner.

Et s'il a parlé de ce canal du Rhône, c'est parce que c'est une des plus grandes œuvres de ce genre qui s'imposent en France, et dont l'exécution

paraît devoir être prochaine. Et, à ce titre, il lui a semblé plus particulièrement intéressant de le signaler à l'attention de la Société.

M. Cotard ajoute cependant que s'il devait discuter les observations de M. Dumont, il y aurait au moins à relever certaines assertions, et entre autres celle qui est relative à la largeur du canal qu'exigerait la solution de la rive droite. Un calcul des plus simples suffit pour établir que cette largeur serait de beaucoup inférieure au chiffre indiqué par M. Dumont.

M. le Président donne la parole à M. Soleillet pour sa communication sur un projet de route et de canal du Sénégal au Niger.

M. Soleillet, après quelques considérations générales, entre dans des explications sur la route et le canal projetés, il en indique le tracé sur une carte spéciale, représentant cette partie de l'Afrique.

Il termine en faisant valoir l'intérêt de ces deux nouvelles communications, pour le développement de notre colonie du Sénégal, et les avantages qu'en peut tirer le commerce français.

Séance du 5 Décembre 1879.

Présidence de M. Gottschalk, *Vice-Président*.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 25 novembre est adopté.

M. le Président fait part du décès de M. Watson (Joseph-Jean).

Il annonce que M. Couriot vient de recevoir les palmes d'Officier d'Académie.

Il est donné lecture d'une lettre de M. de Coëne.

M. de Coene, dans une lettre adressée à M. le Président, dit qu'il a reçu trop tard le procès-verbal de la séance du 7 novembre, pour répondre aux observations présentées sur les raisons qui ont empêché l'emploi des appareils hydrauliques dans les gares françaises.

Il rappelle que, dans les *Bulletins* de la Société, en 1876, il a donné une description des grandes gares à marchandises en Angleterre, description qui a reçu de la Société un bienveillant accueil, et demande la permission d'exposer brièvement ce qu'il a dit alors.

L'usage des appareils hydrauliques est presque universel en Angleterre; mais si cet usage a prévalu et s'est étendu comme il l'a fait, c'est que :

1° Les wagons anglais sont en grande majorité découverts et couverts d'une bâche lorsque cela est nécessaire, et que les wagons fermés ont à leur partie supérieure une trappe, qui peut les faire se découvrir; ce qui

permet toujours au crochet de la grue d'y pénétrer et d'effectuer le déchargement.

2° En Angleterre, les voies des gares sont disposées de manière à permettre le mouvement et l'évacuation de chaque wagon, au fur et à mesure qu'il est déchargé.

3° L'usage presque général que l'on a en Angleterre, et qui est une grande source d'économie et de rapidité, est de recevoir les marchandises à domicile, ou de les placer dans les magasins des gares au fur et à mesure de leur arrivée; les quais restent ainsi toujours libres.

L'absence de ces trois conditions explique pourquoi on a été conduit à abandonner l'usage de la magnifique installation établie par la Cie P.-L.-M. à la gare de Bercy.

Il est à regretter aussi que les quais de nos ports soient généralement mal aménagés pour travailler vite.

Dans son Mémoire, M. de Coëne a fait voir qu'à Dieppe, en France, grâce à d'heureuses dispositions de voie, on était arrivé, par contre, à tirer un merveilleux parti des appareils mécaniques comme rapidité.

Les avantages à tirer de l'emploi des moyens mécaniques sont les suivants :

1° Diminution considérable dans l'étendue de la surface des gares.

2° Pénétration des gares à marchandises dans l'intérieur des villes et, comme conséquence, diminution sur les frais de camionnage.

3° Meilleure utilisation du matériel roulant, et, comme conséquence naturelle, diminution importante du capital nécessaire pour la fourniture du matériel.

M. le Président croit devoir engager les membres de la Société, qui s'intéressent à cette question importante, à se reporter au Mémoire si complet de M. de Coëne, Mémoire qui a été inséré *in extenso* dans le *Bulletin* de notre Société de septembre et octobre de l'année 1876.

M. Faliès donne communication d'une note sur la ligne de Ribeauvillé. (Transport des wagons de la voie normale sur la voie étroite.)

Au moment où la question des chemins de fer économiques est à l'ordre du jour, je crois intéressant de signaler une particularité, que présente le petit chemin de fer sur route récemment établi, pour relier la gare de Ribeauvillé (ligne de Strasbourg à Bâle) à la ville de Ribeauvillé, distante de 4 kilomètres environ.

Ce chemin de fer à voie étroite, de 1 mètre de largeur, présente des rampes de 40 millimètres, et des courbes de 50 mètres de rayon. Il est naturellement exploité avec des locomotives, voitures et wagons appropriés à cette largeur de voie.

Il n'y a qu'une seule station, celle de Ribeauvillé (ville), contenant gare à voyageurs, gare à marchandises, remises et ateliers.

L'exploitation se fait en navette et dessert tous les trains de la ligne principale.

Le personnel du train se compose d'un seul mécanicien, d'un seul conducteur. On ajoute un serre-frein quand il y a des wagons de marchandises.

Le matériel roulant comprend :

3 locomotives pesant 9 tonnes. Elles sont à deux essieux couplés, du système à balancier, construites par la Société de Winterthur (Suisse).

4 voitures à voyageurs à couloir central et plates-formes, contenant chacune 14 places assises et 12 debout.

10 wagons plates-formes.

1 fourgon couvert divisé en deux compartiments, l'un pour les bagages et l'autre pour la poste.

Les voitures et wagons sortent de la fabrique de Neuhausen, près Schaffouse. L'ensemble des dépenses, tout compris, n'a pas dépassé 250,000 francs.

Ces aménagements, ce mode d'exploitation et ce matériel offrent bien leur intérêt. Mais l'innovation excellente, mise en pratique pour la première fois, à ce qu'il me semble, innovation sur laquelle je désire appeler l'attention de la Société, *c'est que ce chemin de fer sur route, à voie étroite, transporte* SANS TRANSBORDEMENT *des wagons de la voie large.*

Les wagons de la voie large sont poussés et fixés sur des plates-formes qui ont, pour les recevoir, à leur surface, deux files de rails à la voie normale. Ces plates-formes reposent sur deux *trucks-bogies* de 4 roues chacun, établis à l'écartement de la voie étroite. D'où suit que ces plates-formes supportent les wagons de la voie large, mais, étant attelées comme les autres véhicules, peuvent passer sans difficulté dans les courbes les plus raides de la voie étroite.

Ce moyen si simple d'obvier à l'objection capitale de la voie étroite, qui est le *transbordement,* est employé avec un plein succès[1].

La petite ligne de Ribeauvillé (gare), à Ribeauvillé (ville), a été ouverte à l'exploitation le 24 juillet 1879. Depuis cette époque, elle transporte journellement des wagons de la grande ligue sans encombre et sans accident.

Les transporteurs pèsent 3 tonnes; les grands wagons à chargement complet pesant 15 tonnes, le poids total est de 18 tonnes qui, réparti sur 4 essieux, ne donne qu'une charge maximum de $4^t,50$ par essieu.

Sur la ligne de Ribeauvillé, la voie placée sur l'un des accotements de la route a dû être posée au niveau de la chaussée, qui n'a que 7 mètres de largeur entre fossés. Elle est formée de rails-longrines (système Demerbe), pesant 30 kilos le mètre courant, ce qui constitue une voie solide et très résistante; mais on établirait la voie dans des conditions de résistance moindres, que cette charge de $4^t,50$ par essieu n'aurait rien d'excessif.

Avec des rails Vignole de 15 kilos par mètre courant, et des traverses espacées de $0^m,80$, conditions dans lesquelles sont prévues ou établies les voies économiques des chemins de fer sur routes, cette charge est parfai-

1. Ces plates-formes ont été imaginées et construites par M. Brown, directeur de la Société de construction de locomotives de Winterthur.

tement admissible; car, dans ces conditions, le rail travaillerait à moins de 7 kilogrammes par millimètre carré.

Voilà donc un précédent heureux qu'il y a lieu d'imiter dans bien des cas en France, notamment pour les chemins de fer sur routes et les raccordements industriels.

M. Brüll présente, au nom de l'auteur, une étude in-folio avec planches sur les casernes, par M. C. Tollet, ingénieur civil.

L'auteur fait comprendre d'abord la nécessité d'une réforme dans le mode de construction des casernes. La statistique médicale de l'armée française indiquerait, pour l'année 1876, 224 506 malades sur un effectif de 405 000 hommes, soit 555 pour 1 000. Les décès auraient été de 4 646, soit 11,45 pour 1 000 hommes présents, et se seraient élevés jusqu'à 15 pour 1 000 dans certains corps d'armée.

M. Tollet dit qu'en entrant aux dernières heures de la nuit dans la chambrée d'une caserne, on s'étonne, en respirant l'odeur nauséabonde qui s'en échappe, que des hommes puissent vivre dans une atmosphère aussi viciée. Dans de telles conditions, les hommes subissent, sans s'en apercevoir, une sorte d'empoisonnement qui se traduit à la longue par un affaiblissement général, et souvent par des maladies caractérisées. Le méphitisme des casernes tue plus de monde que les engins de guerre les plus perfectionnés.

L'auteur rapporte ensuite les origines et les transformations du casernement en France, depuis le seizième siècle, jusqu'aux casernes Napoléon et du Château-d'Eau, inférieures, comme résultats, aux constructions de Vauban, à cause des effectifs bien plus importants qu'elles abritent.

En Angleterre, le casernement ne valait pas mieux que le nôtre jusqu'à 1860; on y trouvait le même encombrement, le même défaut de ventilation et il s'y produisait des épidémies fréquentes.

La mortalité y atteignait le chiffre de 15 pour 1 000.

L'opinion publique s'émut et le Parlement obtint qu'une commission fût chargée de faire une enquête sur l'état des casernes et des hôpitaux militaires, de rechercher les améliorations à apporter aux établissements existants et de poser les principes à suivre dans les constructions nouvelles.

Cette commission visita 102 casernes et 115 hôpitaux, elle consigna ses observations dans de remarquables rapports, dont les conclusions furent adoptées par le Parlement. M. Gaston Douglas rédigea les plans types des nouveaux casernements à créer, plans qui ont été appliqués dans toutes les constructions postérieures à 1861. Depuis cette réforme, la mortalité a diminué de moitié dans l'armée anglaise.

Les nouvelles casernes anglaises sont caractérisées :

1° Par leur emplacement en dehors des villes;

2° Par l'étendue des surfaces de terrain qu'elles occupent (de 50 à 70 mètres carrés par tête);

3° Par la réduction des étages, par le fractionnement des effectifs et leur dissémination;

4° Par les soins apportés à la ventilation naturelle des logements, par la propreté de ces logements et de leurs annexes, par le bon entretien des cabinets d'aisance.

En Prusse, le règlement a fixé la contenance des chambrées à huit ou dix hommes, avec $4^{mq},10$ à $4^{mq},40$ de surface et $12^{mc},000$ à $14^{mc},850$ de capacité cubique; et il y a tendance à faire les chambrées de plus en plus spacieuses et éclairées.

On trouve dans les casernes allemandes des salles de nettoyage, des bains, des réfectoires spacieux et des gymnases.

En Autriche-Hongrie, un grand nombre de casernes vont être reconstruites, et on s'y inspirera certainement des mêmes idées de progrès.

M. Tollet fait ensuite connaître le mode actuel de construction des casernes en France, tel qu'il est résulté de la nécessité imposée par les guerres de 1866 et 1870, d'entretenir des effectifs plus considérables.

Il décrit le type du génie (1874-1878) du casernement pour un régiment de cavalerie, et présente ensuite la critique de ce type au point de vue des inconvénients de service et surtout au point de vue sanitaire.

Le système adopté comporte des chambrées transversales se succédant trois par trois entre deux escaliers. C'est à peu près le type de Vauban, tel qu'il a été transformé, en 1823, par le colonel de Belmas par l'enlèvement du refend longitudinal; mais il est devenu plus mauvais par la réduction de largeur des cages d'escalier, et surtout par la disposition de corridors compris entre deux cloisons longitudinales. Ces corridors, en effet, réduisent d'autant les espaces superficiels et cubiques des chambrées, interceptent la lumière, conservent eux-mêmes une obscurité relative et opposent un double obstacle à la ventilation.

Dans les nouvelles casernes françaises les surfaces susceptibles d'absorber les miasmes, c'est-à-dire les parties de l'enveloppe des logements en contact avec l'air clos, ont une étendue près de six fois plus grande que les surfaces en contact avec l'air extérieur.

Le cube des matériaux employés s'élève à $7^{mc},500$ par homme, alors que 2 à 3 mètres cubes suffiraient. Une semblable réduction des matériaux poreux et encombrants, outre l'économie qu'elle procure, augmenterait la salubrité et favoriserait la circulation de l'air et de la lumière.

En résumé, l'auteur pense qu'on ne saurait imaginer un type de construction plus onéreux et plus dangereux.

Mais ces casernes pourraient être notablement améliorées par des remaniements et par l'établissement de constructions accessoires.

Toutefois on n'obtiendrait ainsi qu'en partie les avantages que M. Tollet croit avoir réalisés par son nouveau système de casernement, qu'il a proposé depuis 1872 et qui a reçu déjà d'importantes applications.

Ce système repose sur les principes suivants :

1° Emplacement des quartiers militaires à proximité des villes, mais à l'air pur de la campagne, sur un terrain dominant, convenablement orienté d'après les climats, perméable ou facile à drainer et pouvant fournir de l'eau potable, à raison de 50 litres au moins par tête et par jour;

2° Réduction de la densité des masses casernées, par le fractionnement et la dissémination des logements, sur une surface de terrain d'au moins 50 mètres carrés par tête;

3° Installation des logements par petits blocs de bâtiments ne logeant que soixante-dix hommes au plus (une compagnie, un demi-escadron). Espacement de ces bâtiments entre eux, d'une largeur égale à une fois et demie au moins leur hauteur. Orientation mixte, uniforme, des longs pans. Séparation complète et éloignement des services accessoires (écuries, cuisines, cantines, infirmeries, etc.), qui peuvent produire des émanations nuisibles à la salubrité;

4° Dispositions architecturales, réduisant les surfaces d'absorption et les cubes recéleurs et gardiens de miasmes, favorisant la ventilation naturelle et assurant tout à la fois la durée sanitaire et l'incombustibilité des constructions;

5° Arrondissement des angles, suppression des charpentes, suppression surtout des étages et par suite des planchers de division horizontale qui, étant soumis à la double influence infectante des habitants du dessus et des émanations de ceux du dessous, deviennent une source d'insalubrité, en même temps qu'ils forment le principal obstacle à la ventilation naturelle des logements. Placer les orifices d'entrée et de sortie de l'air dans les parties des salles les plus éloignées des occupants et les disposer de telle sorte que l'air intérieur puisse être renouvelé suivant les besoins;

6° Réduction des cubes de matériaux à 3^{m},50 au maximum par homme, et par contre, augmentation des espaces superficiels et cubiques clos; donner au moins 3^{m},50 de surface libre et 22 mètres cubes d'air par fantassin, 4^{m},20 de surface libre et 25 mètres cubes d'air par cavalier.

Disposer les orifices d'entrée d'air pur dans les allèges des croisées et à la hauteur de l'égout du toit, les munir de grillages métalliques qui assurent la diffusion de l'air affluent; placer les orifices d'évacuation d'air vicié dans la partie la plus élevée, c'est-à-dire au faîtage, et les munir de registres;

7° Maintenir les casernes et les abords dans un état constant de propreté et assurer le bien-être des soldats, en leur donnant des lavabos et en mettant des bains à leur portée.

Le type établi d'après le programme ci-dessus se compose d'une ossature en fer formée d'arceaux en ogive, très facile à assembler et dont le remplissage peut être fait avec des matériaux de nature quelconque : moellons, béton, feuilles de métal, briques crues ou cuites.

Dans les pays tempérés, une épaisseur de parois de 0^{m},11 à 0^{m},35 est suffisante suivant les cas. On peut, dans les pays chauds, faire le remplissage

avec un grillage en fil de fer sur lequel on jette un enduit de plâtre, de ciment ou de mortier. Dans les pays chauds, on emploie une double paroi emprisonnant un épais matelas d'air. Une ventouse longitudinale, ménagée dans l'angle dièdre formé par les deux pans de l'ogive, assure l'évacuation de l'air vicié qu'aucun angle n'arrête dans sa circulation.

La couverture est en feutre imperméable, en ardoises métalliques ou en tuiles de terre cuite.

Des enduits imperméables sont appliqués à l'intérieur, le sol est dallé ou parqueté sur bitume.

Ce système de construction est économique et léger. Il n'exerce sur le terrain qu'une très faible pression. Il offre une stabilité parfaite, il est incombustible et peut être au besoin désinfecté par flambage.

Son exécution a lieu rapidement. L'ossature une fois posée, on accroche la couverture et le reste des travaux s'exécute à couvert.

Le prix des pavillons ainsi exécutés n'est que de 45 à 50 francs le mètre carré.

Un quartier d'infanterie de quatre bataillons, d'un effectif total de 1 150 hommes, coûte environ 700 000 francs ou 600 francs par homme.

Des casernements ont été édifiés à Bourges d'après ce système pour une brigade entière. Il a été dépensé 2 800 000 francs environ, tandis que d'après l'ancien système le prix se serait élevé entre 3 600 000 et 4 000 000.

A Cosne (Nièvre), il a été construit une caserne pour un régiment d'infanterie de 1 200 hommes. La dépense a atteint à peine 650 000 francs, soit 3 à 400 000 francs de moins que dans le système ordinaire.

Une autre caserne d'infanterie a été bâtie à Autun pour 700 000 francs.

Une diminution a été constatée dans la morbidité des effectifs logés dans les casernements du type Tollet.

Mais l'inventeur croit avoir à se plaindre de diverses résistances que rencontre la généralisation de l'application de ses idées et des emprunts qui auraient été faits sans droits à son système breveté.

M. Brüll, tout en s'abstenant de prendre parti dans cette question de revendication, appelle l'attention sur les remarquables résultats réalisés par M. Tollet et propose à la Société de remercier l'auteur de son intéressante communication.

M. Léon Jaubert donne communication de son Mémoire sur les montures équatoriales destinées à de grands instruments astronomiques.

M. Léon Jaubert dit qu'il est grand admirateur des merveilles de la nature et des phénomènes célestes, et que pour pouvoir mieux observer ces merveilles et pour mettre le public à même de partager son admiration, il a passé quinze années à perfectionner les instruments d'optique et à élaborer les éléments qui vont lui servir pour l'établissement national de vulgarisation scientifique qu'il est en train d'organiser.

Cet établissement comprendra :

Un observatoire ouvert à tous, muni de tous les instruments les plus perfectionnés, non seulement, pour l'observation des astres et de tous les divers phénomènes célestes, mais aussi des instruments pour l'étude de la nature et du monde des infiniment petits, etc.

Il comprendra également des salles de conférences populaires qui serviront à faire passer chaque année sous les yeux du public, tout ce que l'on sait, tout ce que l'on écrit ou que l'on découvre d'utile.

Il comprendra, en outre, les autres dépendances jugées nécessaires.

Avant d'arriver aux montures équatoriales et aux grands projecteurs astronomiques qui font l'objet principal de sa communication, il montre les dessins de la lunette de Galilée, du télescope de Gregory, de celui de Cassegrain, de Newton, du grand télescope d'Herschel; il rappelle aussi celui de Lassell, puis celui de Léon Foucault, celui de Melbourne et celui de Paris.

Il expose ensuite comment, il y a déjà quatorze ans, par une expérience que chacun peut facilement répéter, il est parvenu à s'expliquer que la concentration des rayons lumineux, par le réflecteur principal dans les télescopes et par l'objectif dans les lunettes, rompt l'homogénéité de la masse d'air en élevant plus la température de la partie qui se trouve près du foyer, de sorte que des courants s'établissent dans ces instruments, qui nuisent à la perfection des images et diminuent d'autant le pouvoir optique.

Il signale, comme cause secondaire, les interférences qui se produisent au retour des rayons lumineux. La découverte de ces faits l'a porté à faire des instruments à court foyer pour diminuer l'épaisseur de la masse d'air qui se trouve, dans les télescopes, entre le réflecteur principal et le réflecteur secondaire, et entre celui-ci et l'oculaire; dans les lunettes, entre l'objectif et l'oculaire. C'est ainsi, dit-il, et aussi pour rendre les instruments plus manœuvrables, qu'il a été amené à tenter des combinaisons optiques qui n'avaient jamais été essayées.

Il montre plusieurs réflecteurs sphériques à court foyer qu'il a construits, ainsi que la lentille divergente qu'il place à l'ouverture du télescope, et qui, tout en fermant hermétiquement l'ouverture, est destinée à prévenir l'aberration de sphéricité du réflecteur principal.

Il montre également un réflecteur aussi à court foyer, formé de deux surfaces sphériques combinées de telle sorte entre elles, que les rayons lumineux, après leur entrée dans le miroir, leur réflexion sur la surface postérieure argentée et leur sortie du miroir, arrivent, par suite de leur réfraction à leur entrée et à leur marche dans la masse du réflecteur, à venir se croiser aussi en un point unique, comme si le miroir était parabolique.

Il montre ensuite des miroirs paraboliques réduits à la moitié et même à un tiers de la longueur focale que Foucault donnait aux siens.

Il a été amené, déjà avant 1876, pour se débarrasser de la dispersion qui se produisait sur les côtés des supports du miroir secondaire dans les

formes Gregory et Cassegrain et aussi dans celle de Newton, à coller le petit miroir secondaire sur la lentille à faces parallèles qui ferme herméti-quement le télescope.

Il ajoute que dans les lunettes, il faut que les rayons lumineux soient enveloppés comme d'un fourreau qui ne laisse pas d'espace libre entre lui et les rayons lumineux. Il expose ensuite l'objet des lunettes méridiennes; il mentionne quelques-unes des modifications qu'il se propose de faire subir à celles qu'il destine à l'Observatoire populaire.

Il expose l'objet des montures équatoriales et il énumère les neuf types différents qu'il a créés. Il les destine à porter des lunettes qui ont depuis 5 centimètres jusqu'à plus d'un mètre de diamètre; — des télescopes de 10 centimètres jusqu'à des télescopes de plus de 2 mètres de diamètre. Ces montures comprennent plus de 100 modèles de dimensions graduées.

Il montre alors la lunette du type A à latitude variable, ainsi que le télescope newtonien du type E, également à latitude variable, seuls instruments qu'il ait pu, vu l'état des chemins, apporter à la séance. Il expose également les plans d'une lunette équatoriale du type F ayant 80 centimètres de diamètre, ainsi que le plan d'un autre télescope newtonien du type F portant le n° 14 de la série et ayant $1^m.30$ de diamètre, et le plan d'un autre télescope d'une forme analogue à celle de Cassegrain et portant le n° 16 de cette série et ayant $1^m.60$ de diamètre.

Il signale à ce propos une monture équatoriale à trois axes, type G, destinée à suivre les planètes et leurs satellites et à servir aussi pour les photographier.

Un autre type de monture équatoriale, type H disposé de telle sorte que l'oculaire se trouve placé à l'intersection de l'axe horaire et de l'axe de déclinaison.

Ces montures sont toutes solidement établies, et elles sont pourvues d'un mode spécial de centrage qui permet à l'astronome de rendre toujours l'axe horaire parallèle à l'axe de la terre.

Il énumère ensuite les cinq modes différents de construction qu'il a imaginés pour faire des corps de lunettes et de télescopes de grande dimension légers et le plus résistants possible à toute déformation et à toute flexion.

Le premier mode de construction consiste en une partie centrale en fonte de fer qui fait corps avec l'axe horaire, et à laquelle se trouvent rapportés des longerons en fer en double T, et dont les extrémités portent, l'une l'inférieure, l'oculaire, et l'autre, la supérieure, le barillet muni de l'objectif. Le tout se trouve intérieurement et extérieurement enveloppé d'une tôle d'acier rivée sur les longerons et aussi sur la partie centrale ainsi que sur la garniture qui reçoit le barillet et sur celle qui reçoit l'oculaire.

Le second mode de construction est différent. Tout le corps est ajouré, même la partie centrale. Des lames d'acier coudées et convenablement cintrées, placées sur champ parallèlement à l'axe, sont boulonnées entre

elles; elles forment deux cônes dont les bases sont boulonnées à la partie centrale; les extrémités portent, l'une le barillet de l'objectif, et l'autre l'oculaire.

Le troisième mode consiste en une partie centrale ajourée faite en fonte de fer ou d'acier et à laquelle sont boulonnées et placées également sur champ, des lames d'acier coudées, comme dans le mode précédent, et rivées à des lames longitudinales également sur champ.

Le quatrième mode consiste en une partie centrale également en fonte de fer ou d'acier. Il a boulonné, à chacun des renflements des losanges faits par les lames coudées, en contact avec les lames droites, des cercles en fer ou en acier en U. Le tout est boulonné à chaque entrecroisement avec des équerres rapportées et avec les lames droites et avec les lames coudées.

Enfin, le cinquième mode consiste, comme le précédent, en une partie centrale ajourée sur laquelle sont rapportées deux enveloppes de lames d'acier mises sur plat pliées en spires, l'une intérieure, l'autre extérieure, et espacées par des cercles en fer ou acier en U, le tout est rivé ensemble. Ce mode est beaucoup plus résistant que celui que M. Grubb a employé dans le télescope de Melbourne.

Il démontre ensuite que l'astronome doit, pour pouvoir faire des observations sérieuses et prolongées, être à son aise, et qu'il a besoin d'être entièrement maître de son instrument, comme le micrographe l'est de son microscope.

Pour cela, M. Léon Jaubert anime l'instrument d'un mouvement diurne qui dure au moins seize heures. Il a imaginé, en outre, de placer l'astronome dans une nacelle suspendue à une garniture concentrique à l'oculaire de l'instrument. L'astronome a, de cette sorte, à la portée de son œil : l'oculaire de l'instrument, celui des chercheurs, ceux des lunettes de renvoi qui lui permettent de lire les degrés sur le cercle horaire et sur celui de déclinaison. Il a aussi, à la portée de sa main, des cordes, des manettes qui lui servent à actionner des engrenages ou des vis sans fin, pour diriger rapidement et sûrement son instrument sur n'importe quel point du ciel au-dessus de l'horizon, pour le caler en déclinaison, et celles qui lui servent à mettre l'astre au milieu ou sur les bords du champ; celles qui lui servent également à ralentir ou à suspendre l'action de l'horloge qui donne le mouvement diurne à l'instrument.

Il montre tout cela dessiné sur le plan de la grande lunette de 80 centimètres, sur celui du télescope newtonien de $1^{m}.30$ et enfin sur le télescope de forme Cassegrain de $1^{m}.60$ de diamètre.

Il conclut que si les dispositions optiques et les dispositions mécaniques, ainsi que les divers modes d'observation qu'il a énumérés, peuvent largement suffire pour établir un *observatoire* beaucoup mieux monté qu'aucun de nos observatoires nationaux; si ce vaste ensemble d'instruments peut même, au besoin, suffire aussi pour constituer l'*observatoire international* qu'il essaiera plus tard de faire établir (qui comprendrait le

quartier des instruments méridiens, le quartier des instruments équatoriaux, celui des instruments de photographie, etc., etc., etc.), tout cela ne saurait pourtant suffire pour un *observatoire populaire* comme celui qu'il est en voie d'établir, et qui est destiné à montrer au public les phénomènes les plus délicats et les plus grandioses de l'univers.

Il a imaginé, à cet effet, plusieurs dispositions applicables à tous les instruments astronomiques et qui permettent à plusieurs personnes d'observer en même temps les mêmes phénomènes célestes. Il a créé, en outre, diverses dispositions pour obtenir, sur un écran, une image que plusieurs personnes peuvent observer en même temps. Il a plusieurs instruments de ce genre en construction.

Il a imaginé, de plus, un instrument dont il a parlé et dont le plan a été examiné après la séance par plusieurs collègues. Cet instrument est destiné à projeter sur un vaste écran, pendant toute une journée, devant un grand nombre de personnes, une image agrandie du soleil, ou dans la nuit, celle de la lune et même celle des autres planètes avec leurs satellites, ainsi que plusieurs groupes d'étoiles et même des nébuleuses. Il espère que les astronomes, à l'aide d'instruments de ce genre, dont la *dimension* et la *puissance peuvent devenir presque illimitées*, pourront, en se plaçant dans les conditions atmosphériques les plus favorables, observer ce que ni les deux Herschel, ni lord Rosse, ni Lassell n'ont pu voir, et ce que la grande lunette de Washington est même impuissante à montrer.

Il espère que les membres de la Société s'intéresseront vivement à cet *établissement national de vulgarisation scientifique*, à cet *observatoire populaire*, qui favorisera la culture intellectuelle de nos nationaux et qui placera bientôt la France, sous le rapport des connaissances et des instruments astronomiques, au premier rang des nations.

Il ajoute que, s'il a pu mener à bien ses premières expériences, et si aujourd'hui il peut présenter une série d'instruments construits et les plans presque déjà achevés de cette œuvre considérable, c'est que M. Farcot père a eu l'obligeance de mettre gratuitement, pendant douze ans, dans sa vaste usine de Saint-Ouen, un petit atelier fermé où il a pu faire ses expériences et se former pratiquement, en circulant librement dans ce vaste atelier, à l'art difficile de la bonne et grande construction. Il considère comme un devoir de donner un témoignage de reconnaissance à ce grand ingénieur qui l'a aidé dans ses essais. Il donne le même témoignage public de gratitude à M. Joseph Farcot.

M. le Président remercie M. Jaubert de son intéressante communication.

Séance du 19 Décembre 1879.

Présidence de M. Joseph Farcot.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. Loustau, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 20 décembre

1878, de.	1526
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de.	98
	1624
A déduire, par suite de décès, démissions et radiations pendant l'année.	47
Nombre total des Sociétaires au 19 décembre 1879. . .	1577

Les recettes effectuées pendant l'exercice de 1879 se sont élevées à :

	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, etc.).	57,874 74	68,346 74
2° Pour le fonds social inaliénable (9 exonérations, et dons volontaires).	10,472 »	
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations. . .		11,847 »
Total de ce qui était dû à la Société.		80,193 74
Au 20 décembre 1878, le solde en caisse était de.	7,924 79	76,271 53
Les recettes effectuées pendant l'exercice 1879 se sont élevées à.	68,346 74	
Les sorties de caisse de l'exercice se sont élevées à :		
1° Pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, contributions, assurances, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.). .	52,371 27	66,423 81
2° Pour achat de 25 obligations sur le fonds courant.	9,552 54	
3° Emploi du fonds du capital inaliénable : Remboursement de 9 obligations sur 12 qui ont été désignées par le sort dans l'Assemblée générale du 20 juin 1879.	4,500 »	
Il reste en caisse à ce jour..		9,847 72

D'après le détail de la situation présentée par le trésorier, le fonds courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante, à la date du 19 décembre 1879.

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces.		2,929 »
2° De 152 obligations du Midi, ayant coûté.		54,345 19
Total du fonds courant.		57,274 19

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° En espèces.	6,918 72	12,918 72
2° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo.	6,000 »	
3° Un hôtel dont la construction a coûté.	278,706 90	208,206 90
sur lequel il reste dû.	70,500 »	
Total de l'avoir de la Société.		278,399 81

M. le Président propose à l'Assemblée d'approuver les comptes qui viennent de lui être présentés, et d'offrir à M. Loustau, trésorier, les plus sincères remerciements pour sa gestion et son dévouement constant aux intérêts de la Société.

Ce vote a lieu à l'unanimité et par acclamation.

M. Loustau adresse ensuite à l'Assemblée les paroles suivantes :

Messieurs et chers camarades,

Dans les comptes qui viennent de vous être présentés, le nom de Claudio Gil a été cité à l'occasion du don de 5000 francs que notre généreux collègue a fait à la Société dans ses derniers moments, le 1er septembre 1879.

Des paroles de reconnaissance ont été prononcées devant vous le jour où son frère, Léopoldo Gil, vous a annoncé sa mort et en même temps l'emploi qu'il avait prescrit d'une somme de 15000 francs à répartir entre la Société des Ingénieurs civils, l'École centrale et l'Association amicale des anciens élèves de l'École.

Vous me permettrez cependant de reproduire encore aujourd'hui l'expression de notre profonde gratitude et de nos vifs regrets; je puis le faire non seulement comme Trésorier, mais aussi comme ami; j'ai assisté aux débuts de notre collègue, lorsqu'il arrivait d'Espagne à Paris, avec son frère, en 1843, pour entrer à l'école préparatoire de M. Martelet.

Admis à l'École en 1846, sorti en 1849 avec le diplôme d'Ingénieur, il appliquait avec succès dans son pays les connaissances qu'il avait acquises à l'École, en organisant la grande Compagnie catalane du gaz de Barcelone, dont il a été l'Ingénieur jusqu'à sa mort.

Claudio Gil avait toujours conservé l'attachement le plus sincère pour l'École centrale, et un loyal esprit de confraternité à l'égard des anciens élèves de l'École et de ses collègues de la Société des Ingénieurs civils; il

manifestait ces sentiments en toute occasion, et j'ai pu les apprécier encore il y a peu de temps dans une récente visite que je lui ai faite à Barcelone.

Vous en avez eu vous-mêmes une preuve éclatante dans le dernier acte de sa vie; conservons-en le souvenir et honorons sa mémoire.

L'Assemblée accueille avec sympathie les paroles prononcées par M. Loustau.

Il est ensuite procédé au vote pour l'élection des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1880.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président :

M. GOTTSCHALK (Alexandre).

Vice-Présidents :

MM. Mathieu (Henri).
Martin (Louis).
Brüll (Achille).
Marché (Ernest).

Secrétaires :

MM. Rey (Louis).
Regnard (Paul).
Armengaud jeune (Jules).
Vallot (Henri).

Trésorier : M. Loustau (Gustave).

COMITÉ.

MM. Clémandot (Louis).
Degousée (Edmond).
De Comberousse (Charles).
Demimuid (René).
Mallet (Anatole).
Périssé (Sylvain).
Mayer (Ernest).
Forquenot (Victor).
Courras (Philippe).
Vée (Léonce).

MM. Arson (Alexandre).
Morandiere (Jules).
Ermel (Frédéric).
Chobrzynski (Jean).
Flachat (Ivan).
Péligot (Henri).
Eiffel (Gustave).
Desgrange (Hubert).
Cotard (Charles).
Barrault (Émile).

THÉORIE

DES

POMPES CENTRIFUGES SIMPLES

ÉTABLIE PAR M. LE BARON GREINDL

ET PRÉSENTÉE A LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

PAR M. **L. POILLON**.

INTRODUCTION

Une récente et intéressante communication de notre savant collègue, M. Arson, a appelé l'attention de la Société sur la théorie des appareils à force centrifuge appliqués à la mise en mouvement des gaz et des liquides.

Il existe des différences profondes (à mon avis du moins) entre les raisonnements et déductions théoriques applicables aux gaz (corps éminemment compressibles et élastiques) et ceux applicables aux liquides, auxquels ces qualités font absolument défaut.

Sans insister quant à présent sur ce point, je m'occuperai aujourd'hui de la question *des pompes centrifuges*, c'est-à-dire des appareils centrifuges appliqués à la *propulsion des liquides*.

La théorie des pompes centrifuges existe dans tous les traités d'hydraulique ; et il peut donc sembler, au premier abord, que les questions traitées dans le petit travail que j'ai l'honneur de vous soumettre ne sont pas nouvelles, et que des travaux antérieurs les ont suffisamment élucidées. — La présente communication serait alors dépourvue d'intérêt.

Mais, à ce sujet, il convient de faire observer dès à présent (comme

cela ressortira mieux, du reste, des démonstrations et calculs exposés ci-après) :

Raisons qui ont motivé la rédaction du présent Mémoire. — 1° Que la théorie généralement donnée de la pompe centrifuge part de plusieurs hypothèses *inexactes en fait.* — Ces hypothèses consistent à négliger la vitesse absolue de l'eau dans le tuyau d'ascension et dans le conduit qui l'amène jusqu'aux aubes. — Avec beaucoup de raison et avec l'autorité qui s'attache à son nom, M. Bresse fait observer que cette manière de procéder n'est pas juste et n'a été acceptée, jusqu'à présent, que pour la simplicité des calculs (*Hydraulique,* édition 1868, page 529). — Enfin, du reste, on ne peut nier qu'il soit contraire aux faits, d'admettre que l'introduction de l'eau dans la roue se fasse *sur l'axe sans vitesse d'entraînement et, par conséquent, aussi sans vitesse relative.*

2° Les conséquences des hypothèses inexactes dont on part sont insignifiantes, pour quiconque s'arrête à un examen superficiel des choses, mais ont, au contraire, une importance considérable lorsque l'on en poursuit les déductions jusqu'au bout, et notamment lorsque l'on veut établir la théorie des pompes centrifuges accouplées. Ces hypothèses engendrent alors, en effet, des erreurs importantes.

3° La plupart des théories exposées au sujet des pompes centrifuges négligent les frottements et pertes de charge, non pas que l'on méconnaisse leur importance, mais à cause des recherches complexes que nécessite leur évaluation. — Ennuyé de la difficulté, on la néglige complètement.

4° La plupart de ces mêmes théories partent généralement de dispositifs connus comme faisant loi en quelque sorte ; et l'on accepte ces dispositifs *de confiance*, sans même examiner si des modifications ne pourraient pas y être introduites avec avantage.

5° Dans la théorie des ventilateurs de Combes généralement admise et qui a été répétée ici, les hypothèses inexactes ci-dessus n'ont pas été faites. — Mais, en revanche, on a fait une fausse application du théorème de Bernouilli ; et l'auteur en convient, en quelque sorte implicitement, en avouant que ses conclusions théoriques ne concordent nullement avec les résultats pratiques obtenus. — Cette erreur empêcherait d'appliquer cette théorie aux pompes centrifuges, même en y

introduisant les modifications résultant de ce que l'on considérerait des liquides au lieu de gaz.

6° La théorie de M. le baron Greindl, que j'ai l'honneur de vous présenter (et qui est inédite), reprend au contraire la question par *sa base* et dans *toute sa généralité*, et respecte scrupuleusement le domaine des faits, sans introduire aucune hypothèse gratuite (ni à plus forte raison inexacte) dans la discussion. — Après avoir fait la théorie de la pompe sans les frottements ni les pertes de charge, l'auteur arrive ensuite à en tenir compte et à faire ressortir dans quelle mesure ils doivent affecter les résultats précédemment obtenus.

7° Il résulte de cette méthode, non seulement des déductions théoriques intéressantes, mais aussi des améliorations pratiques importantes à introduire dans la construction des appareils centrifuges, et la réforme de pas mal d'errements trop facilement admis comme choses démontrées.

La question étant ainsi prise dans toute sa généralité, présente un intérêt que n'aurait certainement pas eu l'examen de tel ou tel système particulier; et le but de mon travail étant ainsi suffisamment expliqué, je vous demanderai d'excuser la longueur de ces quelques considérations préliminaires; et j'entrerai immédiatement en matière.

Rappel du principe de la pompe centrifuge simple. — Le principe de la pompe centrifuge simple est trop connu pour qu'il soit nécessaire de l'expliquer longuement.

Chacun sait que si un tambour calé sur un axe et muni d'aubes intérieures, est plein de liquide, et que l'on imprime à l'axe un mouvement de rotation, ce mouvement développera dans la masse liquide (en contact avec les aubes) des composantes centrifuges d'inertie. — Par suite, le liquide tendra à être projeté du centre à la circonférence. — Si l'on suppose maintenant que le centre de la pompe communique avec un tuyau d'aspiration et la circonférence avec un tuyau de refoulement, le liquide projeté du centre à la circonférence (dans un espace annulaire communiquant avec le tuyau de refoulement) sera refoulé dans ce dernier. — Cet effet produira au centre de l'appareil une aspiration ou dépression sous l'influence de laquelle le liquide du bief d'amont affluera à l'intérieur, remplissant au fur et à mesure le vide formé. — Tel est le principe de l'appareil; et son exposé explique

immédiatement la dénomination attribuée aux pompes dites *centrifuges*, sans qu'il soit nécessaire d'insister.

Cause déterminante de l'ascension de l'eau dans la pompe centrifuge. — Dans toute pompe de ce genre, la *composante centrifuge d'inertie* de la masse liquide en mouvement est donc la *cause déterminante* de son mouvement d'ascension que l'on cherche à produire.

Or, la composante centrifuge d'inertie est une fonction de la vitesse de rotation à imprimer au tambour mobile pour envoyer le débit voulu à la hauteur voulue, avec un appareil de dimensions données.

Assimilation du mouvement relatif de l'eau sur l'une des aubes, à un mouvement absolu. — Pour trouver cette expression de la vitesse de rotation, nous étudierons le mouvement relatif de l'eau par rapport à l'une quelconque des aubes de la roue. — Chacun sait que le mouvement relatif d'un point matériel peut être traité comme un mouvement absolu, à la seule condition de joindre aux forces extérieures, qui agissent réellement sur ce point, les forces *apparentes*.

Or celles-ci sont : l'une, la force d'inertie du mouvement d'entraînement, et l'autre la force centrifuge composée.

On sait de plus que, dans l'application du théorème des forces vives, le travail de la force centrifuge composée (travail provenant de la rotation des axes mobiles de coordonnées autour du centre instantané de rotation) disparaît de lui-même, puisque la force intervenant dans ce travail est perpendiculaire à la direction de la vitesse relative (V. *Traité de Mécanique rationnelle* de Delaunay, édition 1866, p. 208 et p. 99)[1].

1. Voici le passage en question de l'ouvrage de Delaunay :

Lorsque le mouvement d'un point matériel est considéré comme résultant de la composition d'un mouvement d'entraînement et d'un mouvement relatif, on peut obtenir l'accélération totale de ce mouvement de la manière suivante : on imagine que le mouvement d'entraînement élémentaire des axes mobiles à l'instant quelconque que l'on considère, soit décomposé en une rotation autour d'un axe instantané passant par le point où se trouve le mobile à cet instant, et en une translation égale au mouvement de ce même point supposé lié aux axes mobiles. — On détermine la vitesse angulaire ω de cette rotation élémentaire, ainsi que l'angle α, que l'axe instantané autour duquel elle s'effectue fait avec la direction de la vitesse relative v'' du mobile. — Cela fait, on compose entre elles :

1° L'accélération d'entraînement j', c'est-à-dire l'accélération du mouvement dont serait animé le point mobile s'il restait en repos relatif dans la position où il se trouve.

2° L'accélération relative j'', c'est-à-dire l'accélération dans le mouvement relatif du point par rapport aux axes mobiles.

3° Enfin une accélération égale à $2\ \omega\ v''$ sin. α dirigée perpendiculairement au plan qui

Nous n'aurons donc à tenir compte dans ce qui va suivre (comme force apparente) que de la force d'inertie du mouvement d'entraînement.

Remarque sur divers modes de construction des pompes centrifuges. Différences au point de vue de la longueur des aubes. — Pour fixer les idées et bien poser les données du problème qui nous occupe, une remarque est ici nécessaire (remarque dont l'importance ressortira mieux plus tard); c'est qu'au point de vue de la longueur des aubes, les modes de construction des pompes centrifuges varient beaucoup. Dans certains systèmes, les aubes sont prolongées presque jusqu'à l'arbre, dans d'autres systèmes, au contraire, ces mêmes aubes s'arrêtent à une assez grande distance de l'axe; et cette distance atteint même parfois jusqu'à 3/4 du rayon extérieur du tambour mobile. — Les inventeurs semblent, du reste, n'avoir accordé aucune attention à ce point, et avoir considéré la longueur des aubes comme une chose tout à fait indifférente. — Or, comme nous le verrons plus loin, c'est là une erreur complète.

Quoi qu'il en soit, dans aucun cas les aubes ne peuvent être prolongées jusqu'à l'axe même, puisqu'il faut au centre la place de l'arbre.

Cas que nous allons étudier d'abord, comme exemple : aubes se prolongeant depuis la périphérie extérieure du tambour mobile jusqu'à une distance de l'axe égale au rayon du tuyau d'aspiration. — Encore une fois, comme il faut bien fixer les idées à ce sujet pour les raisonnements qui vont suivre, nous commencerons par examiner le cas des aubes prolongées jusqu'à une distance de l'axe égale au rayon du tuyau d'aspiration. — Nous indiquerons ensuite les modifications à introduire dans la théorie exposée, lorsque les aubes seront prolongées davantage ou moins.

Remarque sur les frottements et pertes de charge. — Nous commencerons aussi (comme le font du reste tous les traités d'hydrau-

passe par la vitesse relative v'' et par l'axe instantané de rotation des axes mobiles, et dans le sens dans lequel l'extrémité de la ligne qui représente la vitesse relative tourne dans la rotation instantanée autour de cet axe.

La composition de ces trois accélérations étant effectuée d'après la règle du polygone des vitesses, l'accélération résultante que l'on obtiendra sera l'accélération totale dans le mouvement absolu du point considéré.

lique) par ne pas nous occuper du tout des frottements de l'eau ni du mécanisme, ni des pertes de charge d'aucune nature, car en voulant les faire intervenir dès à présent nous rendrions nos déductions obscures; et l'on ne peut pas traiter clairement plusieurs questions à la fois.

Mais nous verrons plus loin par quelle méthode il est facile de tenir compte de ces éléments.

Mouvement d'un filet liquide le long d'une aube. Application du théorème des forces vives. — Ceci posé, analysons les conditions du mouvement d'un filet liquide, depuis l'instant où l'eau arrive en contact avec la partie inférieure de l'aube AB (fig. 1, pl. 158), jusqu'à celui où elle quitte la partie supérieure de cette aube. — Cette période comprend évidemment tout le temps pendant lequel l'eau est sous l'influence du mouvement de l'aube et y participe.

Appliquons, comme nous l'avons dit précédemment, à ce mouvement relatif, le théorème des forces vives, en faisant intervenir les forces apparentes (se réduisant pour les raisons exposées plus haut à la force d'inertie du mouvement d'entraînement).

Données. — Appelons :

$H\alpha$ la pression atmosphérique.

H la *hauteur totale d'élévation* (aspiration plus refoulement).

h la hauteur de refoulement (ou hauteur du niveau du réservoir supérieur au-dessus du centre de la pompe).

h_1 la hauteur d'aspiration, ou hauteur du centre de la pompe au-dessus du niveau du réservoir inférieur.

W_0 la vitesse relative de l'eau à l'entrée des aubes et W_1 cette même vitesse relative à la sortie.

ω la vitesse angulaire de rotation.

R le rayon extérieur des aubes et r leur rayon intérieur, $(R-r)$, par conséquent, la longueur projetée de l'aube sur le rayon.

$u = R.\omega$ la vitesse linéaire de l'extrémité extérieure de l'aube.

$u_0 = r.\omega$ id. id. intérieure —

v la vitesse absolue de l'eau sortant des aubes.

v_1 la vitesse de l'eau dans le tuyau de refoulement (vitesse que

nous supposerons égale à celle de l'eau dans l'espace annulaire).

y l'angle de la tangente au dernier élément extérieur de l'aube avec la tangente à la circonférence du tambour mobile.

b la largeur de la couronne du tambour à sa périphérie extérieure.

b' la largeur de cette même couronne à sa périphérie intérieure.

y' l'angle de la tangente au dernier élément intérieur de l'aube avec la tangente à la circonférence intérieure du tambour.

Remarque sur le point de départ de la théorie ordinaire. — En quoi nous procédons différemment. — Si nous raisonnions d'après les hypothèses généralement admises, c'est-à-dire si nous considérions l'introduction de l'eau dans la roue comme se faisant *sur l'axe sans vitesse d'entraînement et, par conséquent, aussi sans vitesse relative*, nous commencerions, ceci dit, par poser : $r_0 = 0$ et $W_0 = 0$.

Or n'est-il pas invraisemblable de supposer que par un *espace* $2\pi b' r_0$ *nul*, avec une *vitesse* W_0 *nulle*, il passe un débit réel quelconque? Cette seule considération ne fait-elle pas toucher du doigt le caractère peu satisfaisant de la théorie classique et ordinaire?

Recherche de l'accroissement de puissance vive d'un filet élémentaire d'eau pendant un temps *d t*. — Loin de faire aucune hypothèse semblable, nous allons appliquer le théorème des forces vives au mouvement relatif considéré en introduisant r_0 et W_0 dans les calculs pour leurs valeurs véritables et non pour cette valeur zéro. Pour cela, cherchons d'abord la valeur du premier membre de notre équation, c'est-à-dire l'accroissement de puissance vive d'une masse élémentaire d'eau pendant un temps dt infiniment petit.

Soient AB et CD (fig. 2, pl. 158), deux aubes consécutives, et A'B', C'D', les positions occupées par ces mêmes aubes au bout du temps dt.

Si la vitesse de rotation est convenable, pendant ce temps dt un volume d'eau A'a' D'a sera sorti de l'intervalle compris entre les aubes, et aura été remplacé par un volume équivalent B *b* C a.

D'ailleurs la partie AD *a b* n'aura reçu aucun accroissement de puissance vive (puisque le mouvement de rotation et le mouvement relatif de l'eau sur l'aube sont permanents).

Si donc nous appelons dm la masse liquide qui sort des aubes pendant le temps dt, nous pouvons considérer $1/2\, dm\, (W_1^2 - W_0^2)$ comme *l'expression exacte* du demi-accroissement de puissance vive de dm pendant le temps dt dans le mouvement relatif, et ce même résultat se produira pendant chacun des intervalles dt de la durée du mouvement.

Recherche de la somme des travaux des forces extérieures sur le filet élémentaire d'eau (somme à égaler au demi-accroissement de puissance vive). — Énumération de ces forces. — Il s'agit maintenant d'égaler cette expression à la somme des travaux des forces extérieures sur la masse dm (et d'y joindre le travail de la force d'inertie du mouvement d'entraînement).

Les forces extérieures et apparentes dont nous avons à considérer les travaux élémentaires sur le filet liquide, sont :

1° La pression du côté de la colonne de refoulement;
2° La pression du côté de la colonne d'aspiration;
3° La force d'inertie du mouvement d'entraînement (force apparente).

Nous avons vu, en effet, plus haut, que le travail de la force centrifuge composée était nul; et quant à la pesanteur, elle ne produit aucun travail sur l'eau contenue dans le tambour.—Elle agit, en effet, comme résistance sur les filets liquides placés au-dessus de l'axe, et comme puissance sur les filets liquides placés au-dessous de l'axe; et ces deux actions se compensent.

Nous prendrons comme pressions, aux extrémités des aubes, les pressions déduites de la hauteur du centre de la roue, ce qui simplifie les calculs et ne produit aucune erreur appréciable (le rayon du tambour étant généralement insignifiant par rapport aux hauteurs d'aspiration et de refoulement).

Évaluation de la pression à la sortie des aubes et de son travail. — Cherchons d'abord la pression à la sortie des aubes. — En vertu du théorème de Bernouilli, puisque la vitesse est supposée la même dans le tuyau de refoulement que dans l'espace annulaire, la pression à l'entrée de l'espace annulaire, du côté des aubes, sera donnée par la formule $p = H_1 + h$.

En effet, le théorème de Bernouilli peut s'énoncer ainsi :

« Si pour divers points d'un fluide en mouvement permanent, tous

« situés sur la trajectoire d'une même molécule, on prend la différence « entre la hauteur au-dessous d'un plan horizontal fixe, d'une part, et « la hauteur représentative de la pression plus la hauteur due à la « vitesse, d'autre part, cette différence sera une quantité constante. » (Voir *Hydraulique* de Bresse, p. 26.)

L'eau sortant du tambour mobile avec une vitesse absolue V très grande, on doit chercher si la pression à la sortie des aubes est la même que celle à l'entrée de l'espace annulaire, et s'il n'y a pas lieu de traduire ou transformer en pression une partie de la vitesse V (ce qui diminuerait la pression à la sortie des aubes).

Il est facile de voir qu'il en est ainsi théoriquement, mais qu'en pratique la diminution de pression est tellement peu importante, relativement aux autres termes, qu'on peut la négliger dans les calculs pour ne pas les compliquer sans nécessité.

Cette omission n'occasionne donc aucune erreur appréciable; et nous le démontrerons plus tard, afin de ne pas trop allonger cette partie de notre travail et d'éviter une digression.

Pour le moment donc, et sous réserves d'explications ultérieures, nous admettrons $H_a + h$ comme pression à la sortie des aubes (par unité de surface comme toujours).

Sur la surface $2\pi R b$ de la couronne, la pression sera donc $2\pi R b\,(H_a + h)$; et pendant un temps dt, son travail (force multipliée par chemin parcouru) sera $2\pi R b\,(H_a + h).\,W_1 \sin y.\,dt$. Mais $2\pi R b\,W_1 \sin y\,dt = dm.g$. (puisque le poids d'un corps = sa masse multipliée par g).

Donc l'expression du travail de la pression (élémentaire) à la sortie des aubes, sera : $dm.\,g.\,(H_a + h)$.

Évaluation de la pression à l'entrée des aubes et de son travail. — A l'entrée des aubes, nous admettons que l'eau a une vitesse absolue égale à sa vitesse relative W_0. Pour arriver à ce résultat, il faut nécessairement que le premier élément de l'aube soit dirigé suivant le rayon. Nous démontrerons plus tard que c'est la disposition la plus avantageuse.

Nous devons établir maintenant que dans ce cas le théorème de Bernouilli est applicable à la recherche de la pression de l'eau à l'entrée des aubes; et que dans tout autre cas ce théorème n'est plus applicable.

La démonstration de ce fait est très simple.

En effet, le théorème de Bernouilli ne s'applique que lorsqu'aucune accélération due à une force extérieure n'intervient (voir Bresse, p. 25). Or, dans le cas actuel, la composante suivant le rayon de la force centrifuge composée, ne peut donner une accélération nulle dans le sens du rayon, qu'autant que cette force centrifuge composée est perpendiculaire au rayon. Cela ne peut avoir lieu que si la vitesse relative (et par suite le premier élément de l'aube) sont dirigés suivant le rayon.

L'erreur commise dans la théorie de Combes consiste à avoir négligé cette condition essentielle ; et il sera établi plus loin qu'il n'y aurait que des inconvénients à diriger le premier élément de l'aube dans un sens différent du rayon.

Partant de là, l'application du théorème de Bernouilli nous donne comme pression à l'entrée des aubes $H_1 - h_1 - \frac{W_0^2}{2g}$.

En raisonnant comme dans le paragraphe précédent, on trouve que le travail de cette pression est :

$$2\pi r b' W_0 \sin y' dt (H_1 - h_1 - \frac{W_0^2}{2g}) = dm.g (H_1 - h_1 - \frac{W_0^2}{2g}.)$$

car
$$2\pi r b' W_0 \sin y' dt = dm.g.$$

Évaluation de la force d'inertie du mouvement d'entraînement et de son travail. — Quant au travail de la force d'inertie du mouvement d'entraînement sur tout le volume d'eau compris entre deux aubes consécutives pendant le temps dt, il est égal au demi-accroissement de puissance vive de la petite masse dm, passant de la vitesse u_0 à la vitesse u.

En voici la démonstration : La force d'inertie du mouvement d'entraînement a précisément la même valeur que la force centrifuge (ou sa réaction égale et opposée, la force centripète).

Si donc F est cette force et que x soit la distance à laquelle la masse que l'on considère se trouve du centre, on a : $F = m. \omega^2 x.$ — Si la masse m se déplace d'un chemin r dans le sens du rayon, le travail développé sera donc $F r = m. \omega^2. x. r.$

Si donc nous supposons la masse comprise entre deux aubes consécutives, décomposée en un certain nombre de zones concentriques (telles que chacune se substitue à celle immédiatement voisine, dans le

temps dt), chacune de ces masses élémentaires aura produit, pendant ce temps dt, un travail égal à $dm.\omega^2 x.r$.

La somme de tous ces travaux élémentaires, lorsque l'on fera passer x par toutes les valeurs de r à R, sera : $1/2\ dm\ (\omega^2 R^2 - \omega^2 r^2)$. (Les termes intermédiaires disparaissent par addition de tous les travaux élémentaires, puisqu'ils se présentent successivement avec le signe $+$ et avec le signe $-$).

Or, $$1/2\ dm\ (\omega^2 R^2 - \omega^2 r^2) = 1/2\ dm\ (u^2 - u_0^2).$$

Donc se trouvent justifié l'énoncé du présent paragraphe, et évalué le travail de la force d'inertie du mouvement d'entraînement.

Équation représentant finalement l'application du théorème des forces vives à un filet élémentaire. — Donc l'équation définitive à l'établissement de laquelle nous voulions arriver, sera :

$$1/2\ dm\ (W_1^2 - W_0^2) = dm.g.(H_a + h) +$$
$$dm.g.\left(H_a - h_1 - \frac{W_0^2}{2g}\right) + 1/2\ dm.(u^2 - u_0^2).$$

Mais $h + h_1 = H$.

Réduisant l'équation précédente et tenant compte de cette remarque, il vient : $$W_1^2 = -2gH + u^2 - u_0^2. \qquad (1)$$

Conclusion de ce qui précède. — Vitesse de rotation à réaliser pour obtenir un effet déterminé. — Cette équation nous fera facilement connaître la vitesse u, c'est-à-dire la vitesse à imprimer au tambour de l'appareil donné, pour que cet appareil élève à une hauteur H un débit q dans l'unité de temps.

NOTA. — Une observation importante se présente au sujet de l'équation que nous venons d'établir. — C'est qu'au point de vue de l'augmentation de la pression utile produisant le mouvement ascensionnel de l'eau, il ne saurait y avoir que des inconvénients à diriger le premier élément de l'aube dans un sens différent du rayon (c'est-à-dire à faire faire à la tangente à cet élément un angle obtus avec la direction de la vitesse de rotation).

Si l'on faisait cela en effet, il y aurait accélération de l'eau ; et par suite tous les termes de l'équation resteraient les mêmes avec cette différence que le terme $dm.g\left(H_a - h_1 - \frac{W_0^2}{2g}\right)$ serait diminué. Par suite on diminuerait la pression utile au mouvement de l'eau. — (V. du reste la note annexée.)

La figure 3 de la planche 158 met en évidence, par une méthode graphique, la différence entre la trajectoire résultant du mouvement absolu et celle résultant du mouvement relatif.

En effet, on a toujours : $\frac{u}{u_0}=\frac{R}{r}$, d'où $u_0=\frac{u.r}{R}$.

De plus (de même que dans le calcul des turbines) on a :

$$q=2\pi R.\ b.\ W_1 \sin y, \text{ d'où } W_1=\frac{q}{2\pi R b. \sin y}.$$

Il suffit donc de remplacer dans l'équation (1) W_1 par cette valeur, H et g par leurs valeurs numériques, et u_0 par $\frac{u.r}{R}$, pour que cette équation se trouve transformée en une équation équivalente, ne renfermant que u comme inconnue.

On en tirera aisément la valeur de u.

Connaissant u, on a immédiatement le nombre n de tours par seconde correspondant, en remarquant que $u=2\pi R n$.

Ce nombre de tours ainsi calculé, est *juste celui qu'il faut* pour obtenir l'effet demandé, dans les hypothèses admises.

Vitesse de l'eau à la sortie des aubes. — Ayant trouvé u, on détermine la vitesse absolue V de l'eau à la sortie des aubes, par la relation trigonométrique :

$$V^2=W_1^2+u^2-2uW_1\cos y. \qquad (2)$$

Nous n'insistons pas sur cette équation, parce qu'elle se trouve également admise et établie dans les théories ordinaires et que les différences d'hypothèses, faites au début, n'y apportent aucun changement.

Remplaçant dans (2) W_1^2 par sa valeur indiquée par l'équation (1), il vient :

$$V^2=-2gH+u^2-u_0^2+u^2-2u\cos y\sqrt{u^2-u_0^2-2gH},$$

ou bien encore :

$$V^2=-2gH+u^2\left(\frac{2R^2-r^2}{R^2}\right)-2u\cos y\sqrt{\frac{u^2(R^2-r^2)}{R^2}-2gH}. \qquad (3)$$

Cette équation exprime la valeur de V en fonction de quantités qui sont toutes connues.

Appréciation du rendement ou effet utile. — Pour terminer l'examen du cas qui nous occupe, il nous reste à apprécier le

rendement ou effet utile de l'appareil fonctionnant dans les conditions dites plus haut ; et pour cela, il faut tout d'abord évaluer le travail moteur à imprimer à la roue pour obtenir son mouvement de rotation, car le rendement E_u est égal à $\frac{T_u}{T_m}$, rapport du travail utile au travail moteur total dépensé.

Le travail utile T_u est évidemment égal à $q . H$.

Quant au travail moteur à imprimer à la roue, il sera facilement connu en appliquant le théorème des forces vives au mouvement absolu, et égalant le demi-accroissement de puissance vive dans ce mouvement à la somme des travaux des forces extérieures (qui sont les travaux des pressions précédemment trouvées, plus le travail moteur de l'aube). — L'eau entrant dans la roue avec une vitesse absolue W_o (comme nous l'avons admis plus haut) et en sortant avec une vitesse absolue V, nous avons donc d'après ce qui a été vu pages précédentes.

$$1/2\, dm. (V^2 - W_o^2) = - dm.g.H - dm.g.\frac{W_o^2}{2g} + T_m$$

(= travail de chaque pression plus travail de l'aube).

$$\text{D'où : } T_m = dm.g.H + dm.g.\frac{V^2}{2g}.$$

(Remarquons, du reste, que cela revient à dire que le travail moteur pour le poids d'eau $dm.g.$ est égal au travail utile $dm.g.H$, plus à la demi-puissance vive $dm.g.\frac{V^2}{2g}$ possédée par $dm.g.$ en sortant du tambour mobile. C'est une confirmation indirecte.)

Mais $m.g. = q.$ et $dm.g. = q.dt.$

Donc, si au lieu de considérer T_m pendant le temps dt, on le considère pendant *l'unité* de temps, on a :

$$T_m = qH + q.\frac{V^2}{2g}. \qquad (4)$$

Donc, puisque le rendement E_u est égal à $\frac{T_u}{T_m}$, on aura :

$$E_u = \frac{T_u}{T_m} = \frac{qH}{qH + \frac{qV^2}{2g}} = \frac{1}{1 + \frac{V^2}{2gH}}$$

Expression du rendement. Son maximum théorique. — Par conséquent, pour faire tendre le rendement vers 1 (qui est la perfection absolue), il faut faire tendre V vers zéro.

Il n'est pas possible de poser $V = 0$, puisqu'alors il ne sortirait pas d'eau du tambour mobile.

Mais si l'on considère pour un instant u comme une variable, la valeur de V sera rendue minimum en attribuant à u une valeur qui annule la dérivée du second membre de l'équation (3) (prise par rapport à u variable).

Nous poserons donc pour trouver les conditions réalisant le maximum de rendement :

$$0 = 2u\frac{(2R^2 - r^2)}{R^2} - 2\cos y\sqrt{\frac{u^2(R^2 - r^2)}{R^2} - 2gH} - \frac{2u^2\cos y\left(\frac{R^2 - r^2}{R^2}\right)}{\sqrt{\frac{u^2(R^2 - r^2)}{R^2} - 2gH}} = 0.$$

Après quelques simplifications, ceci se réduit à :

$$u^2 = \frac{R^2 gH}{R^2 - r^2}\left(1 + \frac{2R^2 - r^2}{\sqrt{r^4 + 4R^2(R^2 - r^2)\sin^2 y}}\right). \quad (5)$$

Remarque. — Si dans cette équation (5) on suppose $r = 0$, on trouve : $u^2 = gH\left(1 + \frac{1}{\sin y}\right) = gH\left(\frac{1 + \sin y}{\sin y}\right)$, c'est-à-dire que nous retombons alors (comme cela devait être) sur la formule généralement admise (provenant de l'omission faite en négligeant l'influence de r_0).

En introduisant dans l'équation (3) la valeur de u^2 donnée par l'équation (5), on arriverait à une équation générale de la valeur maximum du rapport E_u.

Toute valeur de u, autre que celle tirée de l'équation (5), donnera pour E_u un chiffre moins avantageux, puisque le terme $\frac{V^2}{2gH}$ sera plus grand.

Comment se présente généralement en pratique cette question de rendement. — Exemple. — Mais ces calculs sont très

longs, et comme généralement il s'agit d'apprécier le rendement d'un *type donné*, il est aussi généralement plus simple d'introduire directement dans les équations ci-dessus les *valeurs données correspondantes*.

Voulons-nous, par exemple, nous rendre compte de l'effet utile maximum possible à obtenir d'une pompe, dont l'angle y est de 30° et dont le rayon intérieur du tambour r est égal à 2/3 de R?

Nous remplacerons simplement pour cela dans l'équation (5) r^2 par $4/9\ R^2$, et $\sin^2 y$ par $\sin^2 30 = 1/4$.

Nous obtiendrons ainsi la valeur de u pour le *meilleur rendement possible* dans le cas considéré.

Portée dans l'équation (1), cette valeur de u rendra W_1 déterminé : $\left(u_0 \text{ étant remplacé dans cette même équation par } \frac{uR}{2}\right)$.

Une fois u et W_1 connus, l'équation (2) donne V^2; et de là se déduit donc le rapport cherché $E_u = \dfrac{1}{1 + \dfrac{V^2}{2gH}}$.

Dans le cas qui nous occupe, on trouve que ce rapport (en effectuant les calculs) est égal à 0,46.

Récapitulation des équations établies ci-dessus. — Avant d'aller plus loin, récapitulons les résultats acquis; et disons qu'en négligeant les frottements et pertes de charges, ces résultats sont réprésentés par les équations :

$$W_1^2 = -2gH + u^2 - u_0^2, \qquad (1)$$

$$V^2 = W_1^2 + u^2 - 2uW_1 \cos y, \qquad (2)$$

$$V^2 = -2gH + u^2 \frac{(2R^2 - r^2)}{R^2} - 2u \cos y \sqrt{\frac{u^2 (R^2 - r^2)}{R^2} - 2gH}, \qquad (3)$$

$$T_m = qH + q\frac{V^2}{2g}, \qquad (4)$$

$$u^2 = \frac{R^2 gH}{R^2 - r^2}\left(1 + \frac{2(R^2 - r^2)}{\sqrt{r^4 + 4R^2(R^2 - r^2)\sin^2 y}}\right), \qquad (5)$$

ces cinq équations correspondant (répétons-le) à la réalisation du

rendement maximum (en admettant pour l'instant l'angle y comme constant).

Comme on le voit par ces équations, la valeur de $(R - r)$ (dont on ne s'occupe généralement en aucune façon) est, au contraire, un élément très important de la question et affecte le rendement E_u très sensiblement.

Diverses valeurs de U^2, $W_1{}^2$ et V^2 en fonction de H, d'après le groupe d'équations ci-dessus; et valeurs correspondantes de E_u en faisant varier r de zéro à R (qui reste constant). Ceci met en évidence l'influence de la longueur projetée de l'aube $(R - r)$. Courbe représentative. — Pour mettre en évidence par des exemples l'influence de cet élément et la rendre plus directement perceptible, nous avons (en attribuant toujours à u la valeur rendant V minimum), nous avons, disons-nous, calculé les diverses valeurs de u^2, $W_1{}^2$ et V^2 en fonction de H et les valeurs correspondantes des rendements E_u, en laissant R constant et faisant varier r depuis la valeur (irréalisable en pratique) de zéro jusqu'à la valeur R (également irréalisable).

Nous avons supposé l'angle y constamment égal à 30° (et H, entrant dans tous les termes de V^2, disparaît dans l'équation :

$$E_u = \frac{1}{1 + \frac{V^2}{2\,g\,H}}\Bigg).$$

La courbe (fig. 4, pl. 158) résume les résultats de ces calculs.

Dans le tracé de cette courbe, on a porté comme abscisses les valeurs de r en fractions de R; et les ordonnées correspondantes, représentant les valeurs successives du rendement E_u, ont été portées à l'échelle de 0,01.

L'examen de cette courbe fait ressortir quelques résultats intéressants.

On voit par exemple que, pour le cas irréalisable de $r = 0$, le rendement maximum atteint 0,666 (et ainsi de suite, voir la courbe).

La figure montre, en outre, que si pour de petites valeurs relatives de r par rapport à R, la variation de E_u, pour une augmentation de r, n'est pas considérable, cette même variation devient au contraire très importante dès que r atteint $\frac{R}{2}$.

Il est très important de bien étudier la détermination de r dans chaque cas particulier.

Remarques sur ce qui précède. — Dans ce qui précède, nous avons établi la théorie du fonctionnement de la pompe, en considérant r comme une *quantité déterminée;* et nous avons dit, tout d'abord, que nous commencerions par attribuer à r, pour fixer les idées, une valeur égale au rayon du tuyau d'aspiration (puisque r entrant implicitement, par l'entremise de $(R - r)$ dans le terme $(u^2 - u_0{}^2)$ des équations, il fallait bien faire à son sujet une hypothèse quelconque).

Si plusieurs constructeurs ont adopté pour rayon intérieur des aubes, le rayon de la circonférence d'entrée, un assez grand nombre ont agi autrement et ont prolongé les aubes jusqu'à l'arbre.

Dans ce cas, on ne voit pas *à priori* quelle valeur il faut attribuer à r dans les équations. En effet, dans le cas que nous avons examiné tout d'abord, tous les filets liquides sont soumis, pendant qu'ils traversent le tambour mobile, à la même force d'impulsion de la part des aubes. Dans le cas actuel, au contraire, il est manifeste que l'action des aubes sera d'autant plus énergique sur les filets liquides, que ceux-ci pénétreront dans le tambour mobile en un point plus rapproché de l'axe de la pompe.

Étude du cas où les aubes se prolongeraient jusqu'à l'arbre du tambour. — Voyons donc comment nous pourrons exprimer le travail produit pendant un temps déterminé, lorsque chacune des molécules de la masse considérée ne sera pas soumise au même travail pendant ce temps déterminé.

Soient donc (fig. 5, pl. 158), les aubes prolongées jusqu'à l'arbre; et cherchons pour un temps dt, infiniment petit, le travail de la force d'inertie du mouvement d'entraînement.

Pendant ce temps dt, l'eau comprise entre deux aubes consécutives sera passée de la position ABCD à la position $abcd$. Le mouvement total pourra donc être considéré comme se réduisant à celui de AB ab passant en CD cd.

En effet, la partie commune abCD ne s'est pas éloignée de l'axe, et n'a donné lieu, par conséquent, à aucun travail de la force d'inertie du mouvement d'entraînement.

Si nous décomposons ABab par zones concentriques en n petites

masses $\frac{dm}{n}$ équivalentes, à chacune de ces petites masses $\frac{dm}{n}$ sera appliqué un travail; et en appelant r_0, r'_0, r''_0, etc., les distances auxquelles ces petites masses se trouvaient de l'axe (originairement), et remarquant qu'elles arrivent toutes à la distance R, nous aurons comme expression de travail produit par la force d'inertie du mouvement d'entraînement sur chaque petite masse considérée (dans le sens de la vitesse relative) :

$$1/2 \frac{dm}{n} (R^2 \omega^2 - r_0^2 \omega^2), \quad 1/2 \frac{dm}{n} (R^2 \omega^2 - r'^2_0 \omega^2), \text{ etc.} \qquad (a)$$

Si j'additionne tous ces travaux partiels, le travail total pour toutes les masses équivalentes $\frac{dm}{n}$ sera donc :

$$1/2 \frac{dm}{n} \times (n R^2 \omega^2 - r_0^2 \omega^2 - r'^2_0 \omega^2 - r''^2_0 \omega^2, \text{ etc.})$$

$$= 1/2 \left(\frac{dm}{n} \times n R^2 \omega^2 - \frac{dm}{n} (r_0^2 + r'^2_0 + r''^2_0, \text{ etc.}) \omega^2\right).$$

Encore une fois, les petites masses annulaires $\frac{dm}{n}$ sont équivalentes, c'est-à-dire que l'on a :

$$\pi (r'^2_0 - r_0^2) = \pi (r''^2 - r'^2_0) = \pi (r'''^2_0 - r''^2_0) = \text{, etc.}$$

Mais si R_1 représente la plus grande valeur de r_0, et r_1 la plus petite valeur de r_0 (r_0 étant la distance variable du centre de l'arbre à la tranche annulaire considérée), et si ρ représente le rayon de giration de la masse AB*ab*, j'aurai $\rho^2 = \frac{R_1^2 + r_1^2}{2}$. (Voir : *Mécanique de Delaunay*).

Mais on a aussi : $\rho^2 = \frac{r_0^2 + r'^2_0 + r''^2_0 +, \text{ etc.}}{n}$.

En effet, on appelle rayon de giration d'un corps, par rapport à un axe, la distance de l'axe à laquelle il faudrait concentrer (fictivement) la masse de ce corps pour que son moment d'inertie $M\rho^2$ fût le même par rapport à cet axe, qu'il l'est actuellement (étant $\Sigma m \rho'^2$); donc :

$$\rho^2 \Sigma m = \Sigma m \rho'^2, \qquad \text{ou} \quad \rho^2 \Sigma \frac{dm}{n} = \frac{dm}{n} r_0^2 + \frac{dm}{n} r'^2_0 +, \text{ etc.} =$$

$$= dm \times \frac{r_0^2 + r'^2_0 + r''^2_0 +, \text{ etc.}}{n}.$$

ou (comme $\Sigma \frac{dm}{n} = dm$) $\qquad \rho^2 = \frac{r_0^2 + r'^2_0 + r''^2_0 +, \text{ etc.}}{n},$

donc $\frac{R_1^2 + r_1^2}{2} = \frac{r_0^2 + r'^2_0 + r'''^2_0 +, \text{ etc.}}{n};$

Donc l'expression du travail produit par la force d'inertie du mouvement sur toute l'eau comprise entre les aubes, aura pour expression :

$$\frac{dm}{2} \left[R^2 \omega^2 - 1/2 \left(R_1^2 + r_1^2\right) \omega^2\right] = 1/2\, dm \left(u^2 - u^2_m\right),$$

en appelant u_m la vitesse de l'extrémité du rayon de giration de l'anneau cylindrique compris entre la circonférence de l'arbre et la circonférence d'entrée d'eau de la roue.

Donc l'expression du terme des équations générales, modifié dans cette hypothèse des aubes se prolongeant jusqu'à l'arbre, est trouvée.

Comment on peut ne prolonger les aubes que partiellement jusqu'à l'arbre et obtenir néanmoins le même résultat. — Il n'y a, du reste, aucune nécessité de prolonger l'aube jusqu'à l'arbre sur toute sa largeur; et l'on obtient les mêmes résultats en terminant l'aube vers l'arbre par une courbe comme celle qu'indique la figure 5, pl. 158. Nous le démontrerons dans un instant. Mais commençons par établir le tracé de cette courbe.

En appelant x la distance de l'axe au renflement de l'arbre portant les aubes (ou au moyeu du tambour mobile plutôt), y l'ordonnée correspondante, L la demi-largeur de l'aube, R le rayon de la circonférence d'entrée, r le rayon de l'arbre, on s'impose la condition :

$$\frac{L}{x} = \frac{\pi\,(R^2 - r^2)}{\pi\,(y^2 - r^2)},$$

d'où l'on tire : $\qquad y^2 = \frac{xR^2 - xr^2 + Lr^2}{L}.$

(Si nous faisons croître x depuis zéro jusqu'à L, nous retrouvons comme précédemment pour la valeur de y^2 : $\quad y^2 = \frac{R^2 + r^2}{2}$).

Tous les points de la courbe sont déterminés, et nous disons que l'effet utile théorique est exactement le même qu'avec les aubes prolongées jusqu'à l'arbre sur toute leur largeur[1].

Cas où les aubes se prolongeraient jusqu'au delà de la circonférence d'entrée de l'eau, sans aller néanmoins jusqu'à l'arbre. — Un cas se présente quelquefois encore (quoique rarement) dans la pratique. C'est celui où les aubes, tout en dépassant vers le centre la circonférence d'entrée de l'eau, n'arrivent cependant pas jusqu'à l'arbre.

Mais l'étude de ce cas ne présente aucune difficulté nouvelle, puisqu'il suffit de prendre séparément le travail de la force d'inertie du mouvement d'entraînement :

1° Sur le volume d'eau compris entre la circonférence d'entrée et la naissance des aubes ;

2° Sur le volume d'eau compris entre la naissance des aubes et la circonférence de l'arbre.

On additionne ces deux quantités pour obtenir le travail total à faire entrer dans l'équation (dont les autres termes ne varient pas).

Limites pratiques dans lesquelles on peut réduire la valeur de *r*. — D'après ce qui a été exposé précédemment, on voit qu'il y a avantage à réduire le plus possible la valeur de *r* (en valeur absolue et relativement à R).

1. Pour le prouver l'égalité : $\frac{L}{x} = \frac{(R^2 - r^2)}{(y^2 - r^2)}$ donne la valeur de $y^2 = \frac{xR^2 - xr^2 + Lr^2}{L}$ et par conséquent la valeur de y correspondante au point où chaque filet liquide doit changer de direction (il faut supposer que les filets liquides changent de direction à angles vifs). Si nous voulons savoir à quel point le filet (a) (fig. 6, pl. 158) changera de direction en supposant connu que le filet (a) est placé de telle manière que, en dessous de ce filet il entre par l'orifice central 1/3 du volume débité, et qu'il en entre 2/3 au-dessus de ce filet, chacun des 3/3 considérés occupe une largeur $\frac{L}{3}$ après le changement de direction ; et cette largeur $\frac{L}{3}$ est désignée par x. Si nous appelons y la distance de l'axe à laquelle se trouve ce filet, la surface d'entrée en dessous de ce filet sera $\pi(y^2 - r^2)$, la partie extérieure du 1/3 considéré sera donc à la distance y de l'axe et devra changer de direction, après avoir parcouru les 2/3 de la largeur prise comme unité ou au point situé à 1/3 de la largeur L à partir de la cloison MM. Si le filet changeait de direction avant ce point, il ne resterait plus de place pour les filets b et c, c'est-à-dire pour les deux tiers de l'eau à introduire. La proposition est donc justifiée. Que les filets soient en contact ou non avec des aubes avant le point où ils peuvent changer de direction, cela est indifférent, puisqu'ils ne peuvent, avant ce point, s'éloigner de l'axe et par conséquent produire un travail. On peut donc ne faire commencer l'aube qu'aux points où chacun des filets liquides doit changer de direction, ou sur la courbe cherchée.

Si l'on augmente trop le rayon extérieur R du tambour mobile, on augmente aussi les frottements d'une façon exagérée (comme nous le verrons plus loin en parlant de cette question des frottements).

Il vaut donc mieux s'attacher à réduire r en valeur absolue, que de trop augmenter R ; et nous allons voir dans quelles limites cette réduction est possible.

Section d'entrée de l'eau dans le tambour mobile. — Il est évident que la condition essentielle à observer, c'est que la circonférence ou les circonférences d'entrée de l'eau présentent une aire ou section suffisante pour permettre le passage de l'eau aspirée sans lui imprimer une trop grande vitesse.

La vitesse maximum que la pression motrice puisse imprimer à cette eau est exprimée par $K\sqrt{2g\ (H_a - h_1)}$, (en appelant K un coefficient de réduction pour pertes de charge, contraction, etc., d'environ 0,70 à 0,75).

Partant de cette considération, la limite inférieure de la valeur absolue à attribuer à r est donnée par la formule :

$$\pi\,(r^2 - r_1^2).\ K.\sqrt{2g.\,(H_a - h_1)} = g,$$

(en appelant r le rayon de l'arbre, q le débit comme précédemment), s'il n'y a qu'une seule circonférence d'entrée.

S'il y a deux circonférences d'entrée, chacune d'elles peut naturellement présenter une surface de passage moitié moindre ; et la formule devient :

$$2\pi\,(r^2 - r_1^2)\ K.\sqrt{2g(H_a - h_1)} = q.$$

En résumé donc, on fera bien de réduire la valeur de r à la limite indiquée par cette équation, parce qu'en faisant ainsi, on augmentera le rendement, et que l'on atténuera l'intensité du choc qui tend à se produire (et qui se produit toujours dans une certaine mesure) à l'entrée de l'eau sur les aubes, comme on le verra plus loin.

Remarquons, du reste, qu'en aucun point de sa trajectoire l'eau ne doit avoir une vitesse supérieure à V, parce que V exprime le maximum nécessaire pour obtenir l'effet voulu, et qu'augmenter V au delà en un endroit serait la même chose que d'étrangler un tuyau sans motifs.

Pour rendre ces considérations plus palpables, nous les appliquerons du reste un peu plus loin à un exemple numérique.

Etude de l'influence de l'angle y. — Mais avant d'en venir à cet exemple, et pour en terminer avec les considérations générales, nous avons maintenant à considérer un autre élément important — et variable en définitive tout comme $(R - r)$ — de la construction des pompes centrifuges.

Cet élément, c'est l'angle y, que nous avons supposé constant dans ce qui précède, et égal à 30° (pour la formation du tableau précédent).

On sait que le débit q de la pompe centrifuge est exprimé par l'équation $q = 2\pi R b . W_1 \sin y$. (conformément aux notations précédentes), et que par conséquent plus on diminue l'angle y, plus on diminue le débit (toutes choses égales d'ailleurs). D'autre part, l'expression du rendement est :

$$E_u = \frac{1}{1 + \frac{V^2}{2gH}},$$

et

$$V^2 = W_1^2 + u^2 - 2uW_1 \cos y.$$

Donc plus on fera y petit et plus on diminuera V, et plus on accroîtra le rendement ou E_u.

Mais comme en même temps on diminue le débit, il n'est pas possible de diminuer arbitrairement y ; et c'est pourquoi, en pratique, les constructeurs s'écartent peu de $y = 30°$ (une valeur plus petite donnant lieu du reste à des difficultés d'exécution).

Remarque au sujet des frottements. – Limite de la diminution de y. — Il y a une autre raison encore, du reste, pour ne pas pousser trop loin la réduction de la valeur de y, et cette raison se déduit de la considération des frottements que nous étudierons plus loin. — Nous ne pouvons donc que l'indiquer, quant à présent, d'une façon tout à fait sommaire.

Pour une même vitesse de rotation, le travail du frottement des joues du tambour mobile contre l'eau contenue dans l'enveloppe reste constant évidemment. Si nous appelons C le travail de ce frottement (au lieu de le négliger dans l'évaluation du rendement comme nous l'avons fait précédemment), nous aurons comme expression du rendement, non plus $\frac{qH}{q\left(H + \frac{V^2}{2g}\right)}$, mais bien $\frac{qH}{q\left(H + \frac{V^2}{2g}\right) + C}$.

Comme on s'en rend compte en considérant cette expression, il y aura, lorsque l'on fera diminuer y, une limite inférieure pour laquelle q et $\frac{V^2}{2g}$ diminueront ensemble, le terme C constant empêchant le rendement (ou rapport) d'augmenter.

Nous pensons que cette limite est atteinte, lorsque y est de 30° ou à peu près.

Épure mettant en évidence l'influence des variations de l'angle y. — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé la vitesse constante (et toujours atteignant la valeur nécessaire pour réaliser le maximum du rendement).

Pour montrer ce qui se passe lorsque l'on modifie l'angle y sans altérer cette vitesse (et abstraction faite du terme C relatif aux frottements), nous avons tracé l'épure (fig. 7, pl. 158) en supposant une pompe devant élever l'eau à 7 mètres (pour obtenir des valeurs numériques correspondantes).

On voit, entre autres choses, par l'inspection de cette épure, que le minimum de u correspond à $y = 90°$ et est égal à $\sqrt{2g\mathrm{H}} = \sqrt{2g \times 7}$.

Que le minimum de u n'existe pas; car pour $y = 0$, on trouve $u = \infty$.

Que le débit (nul pour $y = 0$ et pour $y = 90°$) atteint son maximum pour $y = 30°$.

Que le rendement est maximum pour $y = 0$ (condition inapplicable, puisqu'alors le débit est nul).

En outre, la courbe représentant $\frac{u^2}{2g}$ (dont les ordonnées sont proportionnelles au travail du frottement par unité de volume d'eau élevée) montre que le frottement devient très considérable si l'on réduit trop y.

Il s'ensuit qu'il ne faut pas faire y par trop petit, et que l'on doit se contenter de $y = 30°$, valeur correspondant au débit maximum. Alors le rendement (abstraction faite de l'influence de r et des frottements) est 2/3, et les frottements sont encore assez voisins de leur valeur minimum.

L'épure montre encore que le rendement maximum d'une pompe à aubes droites et planes ($y = 90°$) est de 0,50, et qu'alors son débit est zéro.

Cela ressort, du reste, des équations; car (en négligeant les frottements et l'influence de r) on a :

$$u^2 = 2\,g\,H + W^2, \text{ et } V^2 = u^2 + W^2 = 2\,W^2 + 2\,g\,H;$$

donc V^2 sera minimum (et le rendement maximum par suite), quand la vitesse relative $W = 0$.

Mais si $W = 0$, le débit est nul, et l'on ne peut donc pas en pratique réduire W jusqu'à zéro; ce qui oblige à se contenter pour les pompes centrifuges à palettes droites, d'un rendement (même théorique) inférieur à 0,50.

L'épure (fig. 7, pl. 158) permet donc, en résumé, de se rendre compte de toutes les particularités du fonctionnement qu'affecte la modification de l'angle y.

Épure mettant en évidence l'influence des variations de vitesse. — L'épure (fig. 8) donne, au contraire, l'effet utile théorique d'une pompe dont l'angle y est constant et de 30°, et dans laquelle on suppose r assez petit pour que son influence soit négligeable, mais dont on fait varier la vitesse de rotation et le débit. — La courbe trouvée montre clairement qu'une variation de vitesse destinée à produire un débit autre que celui indiqué par les équations de rendement maximum, amène immédiatement une diminution d'effet utile qui peut devenir considérable.

Dans toute la théorie qui précède (et que nous compléterons un peu plus loin par quelques exemples numériques), nous n'avons pas encore parlé des frottements et pertes de charge (pas *in extenso* du moins), et nous allons y arriver dans quelques instants.

Rappel et justification de quelques considérations précédemment énoncées. — Nous serons tout naturellement amenés à traiter cette question des frottements, après avoir rappelé et justifié quelques énoncés que nous avons donnés précédemment en ajournant la démonstration à l'appui.

Nous avons dit précédemment :

1° Que les bons constructeurs de pompes centrifuges donnaient généralement à l'espace annulaire et au tuyau de refoulement une section telle que la vitesse de l'eau *y soit faible*, et que cette section était ainsi calculée pour éviter les pertes de charge. Ce mode de con-

struction a pour résultat de ne transformer aucune fraction sensible de la vitesse en pression. En ce qui concerne ce premier point, nous n'insisterons pas; car il suffit de se reporter à l'examen de la plupart des bons systèmes pour voir que l'on fait ainsi;

2° Qu'à cause de cette grande section, il n'y avait pas lieu, dans les calculs, de transformer en pression une partie de la vitesse absolue V de l'eau, et que l'on pouvait prendre pour pression à la sortie des aubes, celle donnée par le théorème de Bernouilli pour l'espace annulaire et le tuyau de refoulement, en supposant dans ceux-ci la vitesse constante V_1. — Nous avons ajouté que l'on avait donc $(H_1 + h)$ pour pression définitive à la sortie des aubes.

Démonstration de ce que nous n'avons pas d'erreur dans nos calculs pour avoir admis $(H_1 + h)$ comme pression à la sortie des aubes. — Nous allons montrer maintenant que la façon de procéder que nous avons adoptée, n'a pu occasionner aucune erreur sensible dans nos calculs pour les bonnes pompes, puisque dans celles-ci la transformation en question est pour ainsi dire nulle, et que les termes négligés ont par suite une valeur très faible. La simplification introduite ne nuit donc en rien à leur exactitude pour les cas ordinaires.

Démonstration de l'inopportunité de donner à l'eau une vitesse considérable dans l'espace annulaire. — Nous démontrerons comme complément de ce qui précède (avec exemple à l'appui), qu'il y *a toujours inconvénient* à donner à l'eau une vitesse tant soit peu considérable dans l'espace annulaire, et que si par ce procédé on transforme en pression une partie de la vitesse absolue, on augmente par contre tellement les pertes de charge, que toujours la pression à l'extrémité des aubes est plus considérable que dans les cas où la vitesse est petite dans l'espace annulaire et dans le tuyau. La conservation de la vitesse est donc un vice de construction. — En le démontrant, nous apprécierons en même temps la valeur exacte des termes négligés en prenant $(H_1 + h)$ comme pression à la sortie des aubes.

Arrivons donc à cette démonstration.

Il est facile de voir que l'on ne peut pas calculer rigoureusement ni par des formules précises la perte de charge subie par l'eau pendant son passage dans le tambour mobile et dans l'espace annulaire. —

Négligeons complètement cette perte d'abord; et voyons à quelles équations théoriques on arrive, en substituant la vraie pression théorique à l'extrémité des aubes, à la pression $(H_a + h)$ précédemment admise. (V. fig. 9, pl. 158.)

Supposons de plus, pour être dans les meilleures conditions, que le tuyau de refoulement soit évasé de telle sorte qu'à son débouché, l'eau conserve seulement une vitesse négligeable. — Dans l'espace annulaire, l'eau a une vitesse V_1 et en appelant P_1, la pression à l'entrée de cet espace, on doit avoir d'après le théorème de Bernouilli :

$$P_1 + \frac{V^2}{2g} = H_a + h.$$

De la pression P_1, on peut déduire la pression à l'entrée des aubes, en remarquant que si P est cette pression; on a nécessairement :

$$P_1 = H_a + h - \frac{V^2}{2g} = P - \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} - \frac{(V - V_1)^2}{2g},$$

d'où $$P = H_a + h - \frac{V V_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} \qquad (^1)$$

Telle est donc la valeur théorique exacte de la pression P à l'extrémité des aubes (au lieu de $H_a + h$ admis dans les calculs précédents). Donc en prenant $H_a + h$ comme pression à la sortie des aubes dans les calculs précédents, nous avons négligé $\frac{V V_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g}$. — (Donc nous n'avons commis, ce faisant, qu'une erreur sans importance, puisque ces deux termes sont de signes contraires et que chacun d'eux doit être très petit, V et V_1 devant être rendus très petits dans les pompes bien calculées).

Puisque pour le moment nous ne tenons pas compte des pertes de charge, les termes de l'équation du mouvement relatif autres que celui

1. (Observation.) L'expression de la pression à la sortie des aubes a été expliquée au commencement du travail; il faut bien faire attention que la pression et la vitesse en vase clos ou en tuyau ont une relation intime et que *rien ne se perd* de la somme de ces deux quantités que par les frottements ou par les élargissements brusques. Ainsi la pression à l'entrée de l'espace annulaire étant P_1, la pression à l'extrémité des aubes P pourra se trouver, en remarquant que cette pression P plus la hauteur due à la vitesse $\frac{V^2}{2g}$ doit être égale à la pression P_1 dans l'espace annulaire plus la hauteur $\frac{V_1^2}{2g}$ due à la vitesse dans cet espace plus la hauteur représentative de la vitesse perdue par l'eau $\frac{(V - V_1)^2}{2g}$ lorsque celle-ci passe brusquement de la vitesse V à la vitesse V_1.

dans lequel entre la pression à l'extrémité des aubes, ne changent pas. Donc l'équation précédemment établie, modifiée par la rectification que nous venons d'introduire, devient :

$$1/2\, d\, m\, (W_1^2 - W_0^2) = - d\, m.\, g.\, (H_1 + h - \frac{V\, V_1}{g} + \frac{V_1^2}{2\, g}) + d\, m.\, g.$$

$$(H_1 - h_1 - \frac{W_0^2)}{2\, g} + 1/2\, d\, m.\, (u^2 - u_0^2).$$

Ce qui, en réduisant et remarquant que $H = h + h_1$, conduit à :

$$W_1^2 = - 2\, g\, H + 2\, V\, V_1 - V_1^2 + u^2 - u_0^2. \quad (\varepsilon)$$

(Au lieu de l'équation (1) précédente).

La théorie précédemment exposée nous indique pour chaque pompe la valeur à laquelle se limite V, dans le cas de réalisation de maximum de rendement. — Pour la pompe dont l'angle $y = 30°$, cette valeur est $\sqrt{g\,.\,P_c}$ (en appelant P_c la pression complète et faisant abstraction de *r*). (Nous appelons ici pression *complète* celle à l'extrémité des aubes; et cette pression peut être fort différente de celle dans l'espace annulaire, car on doit toujours avoir égalité entre les sommes des pressions des hauteurs dues aux vitesses et des hauteurs perdues).

Examen théorique du cas particulier, que réaliserait une pompe centrifuge si, par des dispositions convenables, on arrivait à transformer en pression la vitesse absolue V_1 de l'eau à la sortie du tambour mobile (cas du reste impossible en pratique).—Puisque nous avons négligé la perte de charge, rien n'empêche de supposer que la vitesse V soit complètement transformée en pression (pour un instant avec tuyau évasé, etc.) Pour cela, il faut que la vitesse V_1 soit égale à V, à l'entrée du pourtour de l'espace annulaire. L'équation (ε) devient alors :

$$W_1^2 = - 2\, g\, H + V^2 + u^2;$$

et la pression complète est :

$$\left(- H + \frac{V^2}{2\, g}.\right)$$

On a donc : $- H + \dfrac{\sqrt{P_c g} \times \sqrt{P_c g}}{2\, g} = - P_c,$

$$3/2\, P_c = H \qquad P_c = 2/3\, H$$

$$V = \sqrt{2/3\, g\,.\,H.}$$

En effet, si l'on veut transformer en pression une partie (ou la totalité) de la vitesse absolue possédée par l'eau à la sortie des aubes, il ne peut se présenter d'élargissement brusque. Sans cela, il y aurait grande perte de pression. — On peut donc dire que, dans deux sections infiniment voisines, les vitesses sont égales.

La hauteur due à la vitesse, sera : $\frac{\sqrt{g\,P_0} \times \sqrt{g\,P_0}}{2\,g}$; et le travail de la pesanteur sur la colonne H, sera donc diminué du travail de cette hauteur.

Le travail des forces extérieures sera : $P_0\,g = g\,H - \frac{g\,P_0}{2\,g}.g = 2/3\,g\,H$.

— Le travail à fournir par l'appareil, sera donc celui nécessaire pour vaincre cette pression 2/3 H, plus celui nécessaire pour donner à l'eau la vitesse V.

Le travail de l'aube est donc :

$T\,p = 2/3\,m\,g\,H + 1/2\,m\,(\sqrt{2/3\,g\,H})^2$ d'où l'on tire :

$T\,p = m\,g\,.\,2/3\,H + 1/2\,.\,m\,.\,2/3\,.\,g\,.\,H = 2/3\,H\,g + 1/3\,g\,H = g\,H$;

dans ces conditions, le rendement de la pompe serait donc de 1, ou 100 pour 100.

Cela est tout naturel du reste, puisque nous avons transformé en pression toute la vitesse, et que nous n'avons pas tenu compte des pertes de charge.

On pourrait croire, d'après ce résultat et d'après l'équation ci-dessus, qu'il est avantageux de conserver à la vitesse V une certaine valeur (assez considérable même).

Étude des frottements et pertes de charge. — Équation complète du mouvement relatif. — Mais remarquons d'abord que nous avons fait abstraction complète des pertes de charge pendant le passage de l'eau dans le tambour et le tuyau annulaire, et que pour avoir une expression exacte de la marche de la pompe, il faut (si l'on ne rend pas très petites et comme telles négligeables ces pertes de charge) il faut, disons-nous, introduire dans l'équation du mouvement relatif, le travail d'une force extérieure équivalent au travail consommé par la perte de charge.

On aura donc alors comme équation *complète* du mouvement relatif

(c'est-à-dire comme équation modifiée par les pertes de charge, puis transformée), on aura, disons-nous :

$$W^2 = -2gH + 2VV_1 - V_1^2 + u^2 - u_0^2 - C,$$

(en appelant C le terme à introduire, relatif aux pertes de charge).

On comprend facilement que la quantité C dépend de tant d'éléments divers, que le calcul en donnerait difficilement une valeur même approchée.

Mais d'un autre côté, l'équation précédente peut avoir ses deux membres, parfaitement déterminés pour tout appareil particulier quelconque que l'on a vu marcher et dont on connaît toutes les dimensions.

Détermination expérimentale du travail perdu par les frottements dans une pompe donnée. — On peut dans cette équation, déterminer W V u^2 et u_0^2.

C'est-à-dire que l'on peut déterminer facilement tout, sauf la quantité $(V^2 + C - 2VV_1)$, qui reste seule inconnue.

En effet, W^2 se déduit facilement du débit q (que l'on peut mesurer expérimentalement), lequel débit est égal à :

$$2\pi R b \,.\, W_1 \sin y$$

u et u_0 sont connus lorsque l'on connaît le nombre de tours de l'appareil et les rayons intérieur et extérieur du tambour mobile.

$2gH$ est connu :

Donc la valeur de $(V^2 + C - 2VV_1)$ peut être calculée par cette méthode ; et en faisant marcher un même appareil à des vitesses successives différentes, l'influence de ces vitesses sur le débit, sur la quantité susdite et sur le travail total dépensé, peut être mise en évidence.

On peut donc déduire d'une série d'expériences de cette nature, des règles pratiques pour atténuer $(V_1^2 + C - 2VV_1)$, et, comme nous le verrons plus loin, cela revient au même que d'atténuer C (ou le travail perdu par les frottements), puisque $V_1^2 - 2VV_1$ doit toujours être très petit. — Comme V peut se calculer d'après les autres quantités avec les formules données précédemment, il suffirait du reste de connaître V_1 pour que le terme C pût avoir sa valeur propre également déterminée. — On constate du reste, que plus la pompe expérimentée est petite, et plus forte devient la part des frottements (comme cela a lieu avec tous les appareils possibles).

Application des considérations précédentes à une série d'expériences faites par M. le général Morin sur une pompe Appold : données. — Comme exemple de ce qui peut être fait dans l'ordre d'idées que nous venons d'exposer, nous allons maintenant chercher la valeur de $(V_1^2 + C - 2 V V_1)$, pour un type de pompe centrifuge cité dans l'ouvrage du général Morin (machines à élever les eaux, page 139). — La pompe expérimentée est du système Appold.

Les aubes sont courbes ; et l'angle y est de 20°.

Le rayon R extérieur du tambour mobile est de $0^m,1525$.

Le rayon r des circonférences d'entrée est de $0^m,07625$.

Le rayon de giration de l'anneau cylindrique d'après la figure, est tel que $u_0^2 = 0,15\ u^2$.

L'épaisseur $b = 0^m,079$.

Première expérience. — Dans la première expérience faite, on a élevé par seconde $0^{mc},150$ à $2^m,59$ de hauteur ; et la vitesse de rotation a été de 828 tours par minute.

Puisque le débit q (ou $0^m,150$ dans le cas actuel) est égal à $2\pi R b W_1 \sin y$, il suffit de diviser $0^m,150$ par le produit $2\pi R b . \sin y$ pour obtenir la valeur réelle de W pendant cette expérience.

Comme $\sin y = \sin 20° = 0^m,34$, le produit $2\pi R b \sin y$ devient (en effectuant les calculs) égal à $0^m,0257\ 375\ 66$.

Alors $W = 5^m,82$ et $W^2 = 33,86$.

D'ailleurs $2 g H = 2 g \times 2,59 = 50,76$.

De plus, $2\pi R = 0,9581$; et puisque l'on marche à 828 tours, un point quelconque de la circonférence extérieure du tambour parcourt $793^m,32$ par minute (soit $13^m,22$ par seconde).

$$u^2 = 174,748 \qquad u_0^2 = 26,214.$$

Donc en remplaçant les lettres par leurs valeurs numériques, l'équation complète trouvée pour le mouvement relatif (c'est-à-dire tenant compte de tous les éléments) sera :

$$33,26 = -50,76 + 2 V V_1 - V_1^2 + 174,748 - 26,214 - C$$

D'où l'on tire :

$$V_1^2 + C - 2 V V_1 = 64,514.$$

D'ailleurs la masse m de l'eau élevée est son poids divisé par g, c'est-à-dire : $\frac{150}{9,81} = 15,30,$

et le travail total des forces extérieures sur cette masse m, est :

$$m.\frac{(174,7684 - 26,214 - 33,26)}{2} = 1/2 . m . 115,266 = 876,73.$$

La vitesse absolue de l'eau à la sortie des aubes, est :

$$V = \sqrt{174,76 + 50,764 - 1,88 \times 13,22 \times 5,82} \quad \text{d'où } V^2 = 80,50.$$

Le demi-accroissement de force vive est donc :

$$1/2 : \frac{150}{9,81} \times 83,84 = 615,80 \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail moteur total à fournir par la machine pour mettre la pompe en mouvement (en négligeant les frottements du mécanisme et celui du tambour mobile dans l'eau), sera : $882 + 642 = 1492$ kilogrammètres.

Le travail utile sera : $150 \times 2,59 = 388,50$.

Le rendement E_u, sera par suite : $\frac{388,50}{1492} = 0,26$.

Remarque. — L'auteur ne donne comme travail moteur dépensé que 717 kilogrammètres, et porte comme travail utile 413 kilogrammètres. Mais cela ne peut résulter que de fautes d'impression.

En effet, le travail utile *est évidemment* (d'après les données mêmes) à $150 \times 2,59 = 388.50$ et non pas 413.

Quant à l'appréciation du travail des forces extérieures, elle ne peut donner lieu à aucune discussion. — Si ce travail avait été plus faible en effet, que celui trouvé par l'équation, la vitesse relative W aurait augmenté, puisque la composante centrifuge a dû bien évidemment donner un travail égal à $1/2\ m\ (u^2 - u_0^2)$, et que u^2 et u_0^2 sont parfaitement déterminés. — Il ne peut pas non plus être révoqué en doute, que le travail de la pompe doive comprendre (outre les frottements accessoires) le travail des forces extérieures, plus le travail nécessaire correspondant au demi-accroissement de puissance vive réalisée.

Résultats des autres expériences. — Cette méthode d'analyse étant exposée, nous résumons dans le tableau ci-après ceux des résultats d'expériences qui offrent quelques particularités intéressantes.

Expériences.	$V_1^2+C-2VV_1$	W	W^2	V^2	u^2	u	$2gH$	u^2 théorique.	Rendement.
1	64,53	5,82	33,86	83,84	174,76	13,22	50,76	137,70	0,26
3	12,89	3,93	11,369	93,49	159,72	12,64	111,52	287,70	0,512
5	5,488	3,66	13,39	87,148	158,256	12,60	115,64	263,00	0,550
8	1,20000	2,00	4,00	147,31	196,00	14,00	161,40	367,29	0,521
7	—3,67	1,213	1,46	»	181,171	»	156,20	»	»

Remarques sur le tableau qui précède. — Conclusion. — Si l'on se reporte au tableau qui précède, on est frappé des quelques remarques ci-après :

1° De l'expérience 1 à l'expérience 3 la quantité $(V_1^2 + C - 2 V V_1)$, passe de la valeur 84,62 à 12,89;

2° Dans l'expérience n° 8 la fraction de la vitesse transformée en pression, compense à peu près les pertes de charge, mais est encore un peu moindre;

3° La colonne des u^2 théoriques désigne les valeurs de u^2, que l'on aurait dû réaliser d'après les formules de la première partie de ce mémoire, pour obtenir le maximum de rendement dans chaque expérience d'après la hauteur et le débit à réaliser;

4° L'ouvrage du général Morin ne permet malheureusement pas d'assigner des valeurs précises à V_1 — sans cela, on aurait pu calculer C seul, au lieu de déterminer seulement la quantité $(V_1^2 + C - 2 VV_1)$. — Toutefois cela n'a pas toute l'importance que l'on pourrait croire au premier abord. — Le tableau prouve en effet, que *lorsque l'on cherche à transformer une partie notable de la vitesse en pression, le rendement baisse.*

Donc il n'y a pas lieu (comme nous l'avons dit précédemment) de chercher à réaliser cette transformation.

Mais du moment que l'on ne cherche pas à transformer en pression une partie de la vitesse de sortie, cela revient à dire que V_1 a une valeur très faible. — Donc $(V_1^2 - 2 VV_1)$ sera très faible; et la quantité $(V_1^2 - 2 V V_1 + C)$ différera donc très peu de C.

Donc les moyens d'atténuer $(V_1^2 - 2 VV_1 + C)$ seront bien les mêmes que les moyens d'atténuer C.

La limite précise de la valeur à attribuer à V_1, est difficile à déterminer rigoureusement. Mais il est démontré par les résultats acquis que l'on doit prendre une vitesse V_1, très minime; et que l'on peut considérer sensiblement comme pression, à l'extrémité des aubes, la pression que le théorème de Bernouilli donne pour l'espace annulaire. Alors la faible transformation de vitesse en pression compense à peu près les faibles pertes de charge. Ceci complète les démonstrations promises.

Exemple numérique pour faire ressortir les avantages qui résultent d'un bon choix de la valeur de r. — Pour terminer et pour faire ressortir l'importance (sur laquelle nous avons insisté précédemment) d'un bon choix des valeurs attribuées aux rayons R et r, prenons maintenant un exemple numérique.

Nous prendrons à cet effet un type de pompe centrifuge décrit dans la publication industrielle d'Armengaud (vol. XIX, pl. 24, fig. 6, 7 et 8).

Nous suivrons un filet liquide partant du réservoir inférieur et arrivant au réservoir supérieur dans les deux cas suivants :

1° Avec une grandeur de r prise au hasard, et conforme à la construction de la pompe représentée;

2° Avec une valeur de r, rationnellement et judicieusement déterminée à l'aide des formules que nous avons établies plus haut.

1° Cas de r pris au hasard. — Supposons dans l'exemple qui nous occupe, l'aspiration h_1 de $3^m,50$, et le refoulement h de $3^m,50$ également.

Cherchons, d'après les formules trouvées précédemment, la vitesse théorique à imprimer à la roue; et nous en déduirons facilement la vitesse d'une molécule d'eau pendant tout son parcours à travers la pompe.

D'après la figure, les dimensions sont les suivantes :

$$R = 0,30 \qquad r = 0,30 - 0,125 = 0,175$$

$$r' = \text{rayon de l'arbre} = 0',0325$$

$$b = 0^m,0225 \qquad y = 30°$$

En remplaçant dans l'équation (5) les lettres par leurs valeurs, nous trouvons :

$$u^2 = \frac{6,180}{0,059375}\left[1 + \frac{0,149375}{\sqrt{0,00093779 + 0,09\ (0,059075)}}\right] = 300,$$

$$u^2 = 4,37\ g\ \mathrm{H},$$

et d'autre part :

$$u_0^2 = \frac{u^2 r^2}{\mathrm{R}^2} = \frac{300 \times 0,030625}{0,09} = 102,08,$$

$$\mathrm{W}_1^2 = -2\ g\ \mathrm{H} + u^2 - u_1^2 = 300 - 137,20 - 102,08 = 60,72,$$

$$\mathrm{V}^2 = 300 + 60,72 - 2 \times 0,865 \times 17,32 \times 7,80 = 137,$$

$$\mathrm{V} = \sqrt{137} = 11,70.$$

Le rendement est : $\dfrac{7}{7 + \dfrac{137}{19,61}} = \dfrac{7}{13,98} = 0,50$ sensiblement.

Le débit par seconde, est :

$$2\ \pi\ \mathrm{R}\ b\ \mathrm{W}_1 \sin y = 0,165\,396.$$

Cela fait par minute = 9 mètres cubes, 92376.

A l'entrée de l'eau sur la circonférence intérieure des aubes, la vitesse relative est donnée par la formule

$$2\ \pi\ r_1\ b'\ \mathrm{W}_0 = 0,\ 165\,396,$$

dans laquelle $r = 0,\ 175$ et $b' = 0,\ 09$; car les aubes sont suivant les rayons ;

donc $$\mathrm{W}_0 = \frac{0,165\ 396}{0,\ 099} = 1,66.$$

Le carré de la vitesse absolue est donc en ce point :

$\mathrm{V}_1^2 = u_0^2 + \mathrm{W}_0^2 = 102,08 + 2,56 = 104,64$; et la vitesse absolue est $10^{\mathrm{m}},20$.

Cette vitesse passe donc brusquement de $1^{\mathrm{m}},66$ à $10^{\mathrm{m}},20$ par l'effet du choc des aubes, ce qui correspond à une perte de force vive.

2° Cas de *r* déterminé d'après la nouvelle théorie. — Examinons maintenant dans quelles circonstances fonctionnerait la même

pompe, si les aubes étaient prolongées jusqu'à l'arbre, et si le rayon des circonférences d'entrée était choisi, de manière que l'eau ait à ce passage une vitesse de $7^m,00$ (de beaucoup inférieure à celle que l'on peut obtenir à la hauteur d'aspiration de $3^m,50$).

Les circonférences d'entrée auraient un rayon tiré de l'équation

$$2\pi(r^2 - \overline{0,0325}^2) \times 7 = 0,165396,$$

donc $r = 0,07$.

Le rayon extérieur de la circonférence étant 0,07 et le rayon de l'arbre 0,0325, le rayon de giration de l'anneau cylindrique sera :

$$r_g = \sqrt{\frac{0,0049}{2} + \frac{0,00305625}{2}} = \sqrt{0,0029782} = 0,055.$$

La quantité W_1^2 devant être égale à 60,72, on aura :

$$60,72 = -2gH + u^2 - \frac{0,55^2}{0,09}u^2,$$

donc $u^2 = 205$.

Le carré de la vitesse absolue est :

$$V^2 = 205 + 60,72 - 1,73 \times 14,32 \times 7, = 72,51.$$

Le rendement est devenu : $\dfrac{7}{7 + \dfrac{72,51}{2g}} = \dfrac{7}{10,69} = 0,65.$

La vitesse absolue est $8^m,60$.

A l'extrémité du rayon de giration, la vitesse de rotation sera :

$$\frac{14,32 \times 0,055}{0,30} = 2^m,625;$$

et la vitesse absolue de l'eau en ce point sera :

$$V_1 = \sqrt{49 + \overline{2,625}^2} = 7,47.$$

Le choc des aubes n'aura donc dû amener comme augmentation brusque de vitesse absolue, que $7^m,47 - 7 = 0^m,47$.

La largeur totale des deux passages à la hauteur des circonférences d'entrée, sera donnée par la formule :

$$L = \frac{0,165\,396}{2\pi . r . \times 7} = \frac{0,165\,396}{3,08} = 0,05\,37.$$

Conclusion de cette comparaison. — La légère modification apportée au tracé de la pompe, a donc introduit dans son fonctionnement des améliorations considérables, consistant :

1° A augmenter le rendement, devenu 0,65 au lieu de 0,50;

2° A diminuer le frottement principal (celui du disque mobile) dans la proportion de 3 à 2 (car ce frottement est en raison directe du carré de la vitesse de rotation) ;

3° A faire disparaître presque complètement le choc de l'eau à l'entrée des aubes.

Observation. — Un seul inconvénient théorique (sans aucune importance en comparaison des trois avantages précités) se produit cependant.

C'est une très légère perte de charge qui se manifestera très près de la pompe, lorsque la section des tuyaux sera graduellement rétrécie pour amener l'eau à une vitesse de $7^m,00$; et une autre très légère perte de charge dans la longueur même du tambour mobile.

Mais la somme de ces deux pertes de charge sera évidemment très faible, puisque chaque tuyau dans lequel elle s'exerce, n'a qu'une longueur de $R - r = 0^m,30 - 0,07 = 0^m,23$.

Quant à la question des coudes, leur influence est très faible pourvu qu'ils soient bien arrondis.

Les fig. (10 et 11), représentent la pompe en question (décrite dans Armengaud) à l'échelle de 0,10.

La fig. (14), donne (aussi à l'échelle de $0^m,10$) la vitesse de l'eau, les abscisses représentant approximativement les chemins parcourus (ramenés à l'échelle susdite). On voit clairement l'intensité du choc produit au moment où la molécule d'eau arrive sur l'aube.

Les fig. (12 et 13), reproduisent une vue et une coupe de la pompe rationnellement établie. — La fig. (15), indique les chemins parcourus et les vitesses d'une molécule d'eau à travers l'appareil.

On voit facilement que le choc est ici très peu sensible. De tout ce qui précède, résulte cette conclusion, qu'avec d'excellentes proportions, on peut arriver pour de grandes pompes centrifuges à un *rendement théorique de* 0,65, mais qu'en pratique ce rendement doit être diminué d'une certaine quantité qui varie en raison inverse du débit.

Importance pratique des frottements suivant la grandeur

de pompe expérimentée. — L'expérience démontre en effet que de fortes pompes centrifuges (200 litres par seconde par exemple) peuvent atteindre un rendement de 0,55 à 0,58, tandis que les petites ne donnent guère plus de 0,25 à 0,30.

Cela dépend du reste, non seulement des frottements, mais de la vitesse de rotation (souvent déterminée presque au hasard), de y, de r, etc.; et nous avons vu que 0,66 était le rendement *théorique maximum* (pour un angle y de 30°, condition la plus favorable).

Conclusion générale et observations diverses. — Le travail que j'ai eu l'honneur de vous soumettre, est encore incomplet sur bien des points. — Je crois toutefois qu'il renferme des données utiles. — Il y a du reste dans ce travail, deux ordres de considérations bien distincts : 1° une partie purement théorique ; 2° une partie purement pratique se déduisant de la précédente.

La partie théorique peut se résumer ainsi : appréciation exacte des pressions, tant à l'entrée qu'à la sortie de l'eau pendant son mouvement relatif, et évaluation du travail produit sur l'eau, dans son passage à travers la pompe.

Les principes de la construction des pompes centrifuges doivent évidemment être déduits de ces considérations théoriques. On ne pourrait en heurter aucune sans être entraîné à une disposition vicieuse comme conséquence.

Les considérations théoriques étant bien établies et justifiées, on ne peut méconnaître que l'élévation de l'eau à l'aide des pompes centrifuges ne soit coûteuse, au point de vue de la force dépensée, et ne soit même plus applicable du tout, lorsque l'élévation à atteindre est considérable.

En effet, il résulte de la théorie de l'appareil, que même en adoptant les meilleures dispositions, on ne peut (même théoriquement) obtenir un rendement mécanique supérieur à 0,65. — D'ailleurs ces 0,65 sont comptés sans y comprendre le travail des frottements ; et ce dernier travail est relativement beaucoup plus considérable pour les pompes de petites dimensions (0,04 à 0,05 par seconde) que pour les pompes puissantes.

Un détail à considérer encore pour obtenir une bonne utilisation de la force, c'est l'influence de la forme du conduit annulaire. Certains constructeurs le font rectangulaire. Cela augmente la perte de charge,

puisque celle-ci n'a pour expression que $\frac{\varepsilon}{\omega}(au + b\,u^2)$ (ε étant le périmètre mouillé, ω la section), et puisque le rapport $\frac{\varepsilon}{\omega}$ est plus élevé pour un rectangle que pour un cercle.

Les équations posées d'après les expériences faites, s'appliquent à des pompes *neuves*. Si l'on expérimente des pompes ayant servi quelque temps, on n'est plus certain que le débit puisse donner une valeur exacte de W_1, par suite de l'usure de la partie du tambour mobile en contact avec les extrémités du tuyau d'aspiration.

Alors une partie de l'eau qui a traversé le tambour mobile, retourne dans le tuyau d'aspiration par le vide formé ; et la vitesse W peut être beaucoup plus grande dans le tambour, que celle déduite du débit. — Les calculs ne seraient plus justes. En ce qui concerne les expériences citées plus haut, elles ont dû être faites du reste sur des pompes en parfait état.

Récapitulons les règles pratiques qui résultent du présent mémoire pour la construction rationnelle des pompes centrifuges, je dirai :

1° Que les aubes doivent toujours être prolongées jusqu'à l'arbre (sur une partie de leur largeur et en s'y raccordant suivant la courbe qui a été indiquée précédemment) ;

2° Que l'aube doit avoir son premier élément près de l'arbre dirigé suivant le rayon, tandis que le dernier élément (celui correspondant à la circonférence extérieure du tambour mobile) doit faire un angle de 30° avec la tangente à celle-ci ;

3° Que la surface de l'orifice d'admission a pour limite inférieure :

$$Q \times \frac{1}{3{,}1\sqrt{H_a - h_1}} \text{ (ou la moitié s'il y a deux orifices).}$$

(H_a pression atmosphérique, h_1 hauteur d'aspiration).

4° Que dans ces conditions, on peut espérer approcher, pour les très fortes pompes et les faibles hauteurs, du rendement théorique maximum de 0,66, en atténuant les frottements et pertes de charge, mais que cependant ce rendement 0,66 ne saurait évidemment jamais être atteint.

Pour les petites pompes, on ne peut évidemment compter en approcher que de très loin.

NOTE.

Note. — Quoique les constructeurs aient complètement abandonné la forme préconisée par l'ouvrage de Combes pour les aubes des pompes centrifuges, il y a un intérêt théorique à rechercher comment la formule fondamentale de la théorie des pompes devrait être établie dans ce cas particulier (c'est-à-dire le premier élément de l'aube n'étant pas dirigé suivant le rayon).

Nous avons vu précédemment que lorsque le premier élément de l'aube n'est pas dirigé suivant le rayon, on ne peut plus (à cause de la force centrifuge composée) appliquer le théorème de Bernouilli pour trouver la pression motrice (ni par suite pour arriver à une expression du travail de la pression). — Cherchons la trajectoire absolue d'une molécule d'eau. (V. la fig. 16.) — Soit cette molécule sortant de la circonférence avec une vitesse V suivant le rayon, et poussée ensuite par une aube faisant un angle quelconque avec le rayon (et non plus tangente à celui-ci).

Soient AE = V, la vitesse absolue, AB = W_0 la vitesse relative, AC = u_0 la vitesse de rotation.

Au bout de l'unité de temps, en vertu de sa vitesse antérieure absolue, la molécule considérée serait arrivée en E, si elle était restée abandonnée à elle-même. — Mais l'aube ayant marché de AB en CD (en assimilant la rotation à une translation), le point E serait venu en D ; et la molécule primitivement située en A, aurait suivi le chemin AD.

On voit clairement que les molécules partant de 1, 2, C, avec une vitesse V perpendiculaire à AC, ne pourront exercer aucune pression sur la molécule A, qui se trouve successivement en A', A'', et D, lorsque les molécules 1, 2, se trouvent en 1', 2' et C'. Une certaine modification dans la vitesse V, sera nécessaire; et la force capable de produire cette modification devra être retranchée de la force produisant la pression. Le cas du mouvement circulaire est tout à fait analogue ; et comme c'est celui qui se présente dans le mouvement d'une pompe centrifuge, nous allons l'étudier, et déterminer la force nécessaire pour produire la modification du mouvement.

La molécule A est astreinte à se mouvoir le long de l'aube AB, avec une vitesse W_0. (V. fig. 17.) — Au bout de l'unité de temps, elle est en B'. — La molécule qui au commencement de ce même temps était en A' (sur le point de sortir de la circonférence d'entrée), se trouve en E' après le temps considéré.

Elle ne peut donc exercer aucune pression sur la molécule en B'. Pour qu'elle puisse exercer une pression, il faut qu'elle ait parcouru une distance E'B', c'est-à-dire qu'elle ait acquis une vitesse telle que pendant l'unité de temps cette vitesse lui fasse parcourir E'B' (c'est-à-dire que cette vitesse soit E'B').

Si *dm* est la masse de la molécule considérée, le travail nécessité sera :

$$1/2\ dm.\ \overline{E'B'}^2.$$

Mais le travail de la pression sur A' avant que cette vitesse E'B' soit acquise, est :

$$dm.g.\left(H_a - h_1 - \frac{V^2}{2g}\right)$$

Le travail après que la vitesse E'B' a été acquise, est donc :

$$dm\ g.\left(H_a - h_1 - \frac{V^2}{2g}\right) - dm\ g.\ \frac{\overline{E'B'}}{2g}.$$

Mais $V^2 + E'B'^2 = W_0^2$.

Donc l'expression du travail exercé sur A par la pression motrice, est :

$$dmg. \left(H^a - h_1 - \frac{W_o^2}{2g}\right).$$

Si l'on rend très petite la distance AA', cela ne change rien, puisque les proportions restent les mêmes. — On arrive alors à l'équation :

$$1/2\ dm. (W^2 - W_o^2) = dmg. (H + h) + dmg. \left(H_a - h - \frac{W_o^2}{2g}\right) + 1/2\ dm. (u^2 - u_o^2).$$

Cette équation réduite, donne :

$W_1^2 = -2gH + u^2 - u_o^2$, comme dans le cas de l'aube ayant son premier élément dirigé suivant le rayon.

La vitesse de rotation de la pompe ainsi construite, sera la même que celle de la pompe de mêmes dimensions ayant son premier élément d'aube dirigé suivant le rayon (à condition que les derniers éléments forment le même angle avec la circonférence). — Le rendement sera donc le même pour les deux appareils. — Mais la pompe avec aubes inclinées sur les rayons à l'intérieur, ne pourra pas être construite (à cause des difficultés d'exécution) avec le même rapport entre r et r_o.

La perte de charge résultant de la vitesse relative de l'eau le long des aubes, sera plus grande dans la pompe ayant le premier élément de l'aube incliné.

La routine a déterminé à abandonner complètement les aubes inclinées, bien que d'après la théorie admise jusqu'à ce jour, elles dussent donner un rendement de beaucoup supérieur à celui des aubes avec premier élément suivant le rayon.

Cette théorie était inexacte du reste, puisque loin de se baser sur l'appréciation du travail de l'aube sur de l'eau ayant une vitesse acquise, Combes (et les autres auteurs) négligeaient cette vitesse acquise, ce qui les conduisait à l'équation erronée : $W_1^2 = 2gH + u^2$.

Aucun auteur non plus n'avait traité à fond la question de la pression à l'extrémité des aubes, et n'avait fait remarquer que cette pression n'était pas rigoureusement égale à celle de l'espace annulaire.

RÉSULTATS

DES EXPÉRIENCES DE FLEXION

FAITES SUR DES

RAILS EN FER ET EN ACIER

AU DELA DE LA LIMITE D'ÉLASTICITÉ ET JUSQU'A LA RUPTURE

PAR M. HENRI TRESCA.

Les lois de la flexion des corps solides, soumis, au milieu de leur longueur, à des charges plus ou moins grandes, sont suffisamment vérifiées par l'expérience jusqu'à la limite de leur élasticité ; on sait très bien aussi que pour des charges plus considérables, cette élasticité étant altérée, le solide ne revient plus à sa forme primitive, après le déchargement ; mais on ne possède encore que des indications assez imparfaites sur l'état dans lequel cette flexion permanente laisse la matière, au point de vue des nouvelles propriétés mécaniques qu'elle a pu acquérir.

Son coefficient a-t-il varié et dans quel sens ? sa limite d'élasticité est-elle restreinte ou reculée ? les conditions nécessaires pour déterminer la rupture se sont-elles modifiées ?

Ce sont là autant de questions sur lesquelles les opinions sont diverses, par suite de l'insuffisance des expériences, encore bien qu'en Allemagne notamment on admette pour certain, d'après les expériences de M. Brix, que le corps ainsi déformé sous une première charge, y peut être soumis de nouveau sans donner lieu à une nouvelle flexion permanente.

M. Bresse, dans sa *Mécanique appliquée* (t. Ier, page 390) cite une expérience de traction faite dans des conditions analogues par M. Eaton Hodgkinson : elle conduirait à la même conclusion si, comme nous le pensons, les premiers allongements permanents qui y sont signalés par l'observateur anglais, peuvent être attribués au déplacement des points d'appui.

Cette question nous a paru assez intéressante pour que, profitant de l'opportunité offerte par certaines expériences qui nous avaient été demandées par M. le général Morin, sur la résistance comparative des rails en fer et des rails en acier, nous ayons dirigé ces expériences de manière à ne laisser subsister aucun doute sur les différents points qui viennent d'être indiqués.

Nous avions à notre disposition sept rails distincts, de provenances et de profils différents, trois en fer, et quatre en acier. Nous possédions les moyens d'expérimentation nécessaires pour opérer lentement et avec toute la précision désirable, et nous nous proposons de rendre compte dans cette note des résultats que nous avons obtenus.

Les rails en expérience étaient placés horizontalement, au-dessous de deux corbeaux saillants, en pierre dure, encastrés dans toute l'épaisseur d'un gros mur, et au moyen de notre presse hydraulique, munie d'un manomètre préalablement taré par charges directes, nous avons déterminé au milieu de chacun d'eux des efforts aussi grands qu'il pouvait être nécessaire.

Un repère tracé au milieu de la poutre était visé par la lunette d'un cathétomètre, et des repères semblables, aux extrémités, par des lunettes destinées à mesurer en même temps les variations de hauteur des points d'appui.

Les flèches ainsi mesurées étaient corrigées de toute incertitude à cet égard, et les résultats numériques peuvent dès lors inspirer une complète confiance.

Le même rail était successivement chargé et déchargé, en opérant lentement et avec toutes les précautions convenables ; de nombreuses lectures étaient faites pendant chacune de ces opérations, prolongées jusqu'à des charges successivement croissantes, dans chacune d'elles, et quelquefois jusqu'à la rupture.

La charge en kilogrammes étant connue par la traduction des indications manométriques, et la flexion, à chaque instant, directement lue

sur les cathétomètres, on a pu, pour chacun des rails, représenter la relation entre ces deux éléments principaux de la détermination par un tracé graphique, dans lequel les pressions ont été prises pour abscisses, et les flèches pour ordonnées.

La flexion permanente se trouvant ainsi accusée par une ordonnée finale, à la fin du déchargement, nous avons pris le point ainsi obtenu pour origine, dans la représentation de l'expérience suivante, de manière à pouvoir reconnaître d'un seul coup d'œil, sur l'ensemble de l'épure, la signification comparative des expériences faites successivement sur le même rail.

Deux des rails entr'autres ont été ainsi soumis à sept déterminations successives, qui se trouvent simultanément représentées, comme il vient d'être dit, sur une seule figure. Les autres ont été soumis à un moindre nombre d'opérations.

Désignation des rails soumis aux expériences.

Les rails soumis aux expériences, ont été tous fournis par le chemin de fer du Nord ; les uns ont été pris sur la voie, les autres n'avaient encore fait aucun service, et nous indiquons ci-après la situation particulière de chacun d'eux, sous ce rapport.

VII. Rail en acier de l'usine d'Imphy, posé le 10 août 1867 et retiré de la voie le 3 avril 1868.
IV. Rail en acier de l'usine de Terre-Noire, posé le 25 novembre 1867 à Chantilly et retiré le 31 janvier 1868.
V. Rail en acier de l'usine de Terre-Noire, posé le 27 janvier 1868 et retiré de la voie le 2 avril.
III. Rail en acier de l'usine d'Imphy, posé le 10 août 1867 et retiré de la voie le 2 avril 1868.
II. Rail en fer des usines de M. de Wendel.
VI. Rail en fer des usines de Seraing. Juin 1867.
I. Rail d° d° M. de Wendel.

Détermination des profils et des moments d'inertie.

Tous les profils ont été déterminés avec le plus grand soin dans un calibre portant une série de rainures parallèles, à l'aide desquelles une

aiguille, amenée au contact du métal, donnait directement la mesure de chacune des ordonnées. Ces mesures étaient ensuite reportées, au moyen des mêmes aiguilles, sur une feuille de papier remplaçant le tronçon de rail ; on verra que pour plusieurs des rails, le profil n'était pas parfaitement symétrique, et cet accident de fabrication rendait encore plus utile de déterminer le plus exactement possible toutes les dimensions. Généralement cette détermination a été faite en plusieurs points de la longueur du rail, et les tracés géométriques ont été faits sur une section moyenne.

Le profil étant exactement relevé, le centre de gravité de chacun des profils a été déterminé par la méthode graphique, en construisant à partir de la semelle, une courbe dont les ordonnées seraient mesurées par le moment de chacune des ordonnées de la figure primitive.

Enfin le centre de gravité étant connu, la courbe représentative du moment d'inertie a été construite, pour chaque tracé, en portant, à partir de la ligne transversale moyenne, des ordonnées mesurées par le moment d'inertie de chacune des ordonnées du profil réel.

Quelques explications sont nécessaires à ce sujet, en ce qui concerne le choix des échelles : nous les représenterons une fois pour toutes par rapport au rail N° IV pris pour exemple [1].

Pour tracer la surface S′ relative à la détermination du centre de gravité il fallait, pour chaque tranche d'épaisseur dx, construire $dx\int dy \times y = dx \times \frac{y^2}{2}$ et joindre toutes les ordonnées $\frac{y^2}{2}$ par un trait continu. Exprimant toujours y en millimètres, le nombre correspondant à $\frac{y^2}{2}$ a été représenté à raison de 2 millimètres pour 100 unités, et la surface S′ correspondante a été estimée en millimètres carrés.

On a ainsi $S' = \frac{2}{100}\int\frac{y^2dx}{2} = \frac{2}{100}(\omega \times h)$, en désignant par h l'ordonnée du centre de gravité, ce qui conduit à $h = \frac{100}{2}.\frac{S'}{\omega}$.

Dans le cas particulier

$$S' = 5750; \quad \omega = 4870$$

1. La section moyenne S′ était représentée en vraie grandeur et mesurée au planimètre en millimètres carrés, mais la reproduction, sur la planche qui accompagne cette note, a été réduite à demi-grandeur.

et par suite $$h = \frac{100}{2} \cdot \frac{5750}{4870} = 59.04 \text{ millim.}$$

Les même indications doivent être données pour l'aire S″, représentative des moments d'inertie, pris par rapport à l'axe mené parallèlement à la base par le centre de gravité.

Pour chaque tranche d'épaisseur *dx* de la section, considérée soit au-dessus soit au-dessous de cet axe, il fallait représenter $\frac{y^3}{3}$, et c'est ce qui a été fait en figurant par 1 millimètre 1/2 chaque mille d'unités comprises dans le nombre $\frac{y^3}{3}$.

La surface S″ donne alors la valeur de I, rapportée au millimètre carré, par la relation

$$I = S'' \frac{1000}{1.5}$$

et, pour la rapporter au mètre carré il faut écrire,

$$I = \frac{S'' \times 1000}{1.5 \times 1000^4} = \frac{S''}{1.500.000.000}.$$

Dans le cas particulier

$$S'' = 139\ 20, \quad I = \frac{13920}{1.500.000.000} = 0,000.009.26.$$

Les mêmes opérations ont été faites pour tous les autres rails, ce qui a permis d'établir le tableau suivant :

Nos des rails.	HAUTEUR δ de la section.	SURFACE de la section ω.	POIDS π du rail par mètre.	SURFACE S′.	HAUTEUR du centre de gravité h.	Plus grande ORDONNÉE v′.	SURFACE S″.	MOMENT d'inertie I.
	millim.	mmq.	k.					
I	119.7	4660	35.88	5520	59.20	60.5	12110	0,000008 07
II	120.5	4340	33.42	5130	59.10	61.9	12435	0,000008 29
III	125.4	5020	38.65	5920	59.96	66.5	14040	0,000009 36
IV	124.0	4870	37.50	5750	59.04	65.0	13920	0,000009 28
V	124.1	4760	36.65	5630	59.00	65.0	14020	0,000009 35
VI	126.75	5130	39.50	6190	59.75	67.0	14990	0,000009 99
VII	125.0	5050	38.89	6030	59.00	66.0	14910	0,000009 94

Dans ce tableau le poids π par mètre a été calculé, d'après la surface, en estimant à 7700 kilogrammes le poids du mètre cube de fer, et la plus grande ordonnée v', à partir de la ligne des fibres neutres, a été donnée par la relation, qui est ici applicable à tous les cas :

$$v' = c - h.$$

Description des expériences.

Ces diverses expériences ont donné lieu à de nombreuses constatations numériques que nous avons réunies en tableaux, sur les indications desquels nous avons en outre à présenter quelques observations.

Ces tableaux comprennent d'abord deux rails en acier expérimentés avec une portée de $5^m,00$; deux autres rails du même métal avec une portée de $2^m,80$ seulement; enfin les 3 rails de fer sous une portée commune de 5 mètres.

Quelques-uns des essais ayant pour but unique la détermination du coefficient d'élasticité et la démonstration du retour à la forme primitive après le déchargement, nous commencerons dans chaque série par l'examen de ces conditions plus simples.

Expériences sur les rails d'acier.

Expériences sur le rail n° VII.

Rail en acier de l'usine d'Imphy.
Section $\omega = 0^{mq},005050$.
Poids par mètre $\pi = 38^k,85$.
Moment d'inertie $I = 0,00000994$.
Longueur totale du rail $= 6^m,00$.
Longueur du rail entre les appuis. $2C = 5^m,00$.

Deux expériences seulement ont été faites, l'une (voir le tableau A), en augmentant graduellement la charge jusqu'à ce que les flèches partielles parussent augmenter d'une manière plus rapide.

Les observations faites sur ce rail sont dès le début moins régulières que pour les autres ; mais, malgré les anomalies que reproduit avec soin le tracé, on reconnaît que l'ensemble des expériences peut être

représenté par une ligne droite moyenne et qu'il n'y a de différence bien accusée qu'à partir de la charge de 6304 kilogrammes. Cependant tous les points relatifs aux observations faites pendant le déchargement (tableau B) sont plus réguliers, l'opération se termine avec une flèche permanente très faible, de 3,95 millimètres, que l'on aurait sans doute évitée si l'on avait un peu plus modéré les charges; il faut remarquer à cet égard que les flèches mesurées pendant le déchargement sont toutes plus grandes que les précédentes, à égalité de charge, par suite de cette flexion permanente, accusée à la fin des essais. Elles sont au contraire plus petites quand on les corrige de cette déformation.

La plus grande régularité de la courbe de déchargement semble déjà indiquer que les tensions moléculaires locales, mises en jeu par la première opération, se sont en quelque sorte régularisées de manière à rendre le solide plus réellement élastique et plus homogène.

On jugera d'ailleurs de la petitesse des différences en calculant le coefficient d'élasticité, d'une part pour la charge de 4202 kilogrammes, d'autre part pour la charge totale, déduction faite de la flexion permanente.

On trouve ainsi :

$$E = 21\ 351000000$$

et

$$E = 20\ 193000000.$$

Le plus grand effort moléculaire par mètre carré se calcule d'ailleurs, pour la première expérience, par la formule

$$R = \frac{PCv'}{2I} = 34,876 \times 10^{6}.$$

ou 35 kilogrammes par millimètre carré pour la charge de 4202 kilog.; cet effort s'est élevé jusqu'à $58^{k},96$ à la fin du chargement, pour le milieu du patin.

Tableau A.

EXPÉRIENCE N° 1. PAR CHARGEMENTS SUCCESSIFS (24 Août 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	FLEXIONS partielles.
0	0	798.66	0	0	0
10	350	810.36	11.70	3.90	3.90
20	700	814.52	15.86	7.72	3.82
30	1.051	819.72	21.06	12.74	5.02
40	1.401	824.02	25.36	17.01	4.27
50	1.751	828.04	29.38	20.94	3.93
60	2.101	833.22	34.56	25.99	5.05
70	2.451	838.52	39.86	31.22	5.23
80	2.802	841.18	42.52	33.82	2.60
90	3.152	845.84	47.18	38.43	4.61
100	3.502	851.50	52.84	43.05	4.62
110	3.852	855.26	56.60	47.78	4.73
120	4.202	859.08	60.42	51.56	3.78
130	4.553	867.52	68.86	59.93	8.37
140	4.903	870.82	72.16	63.21	3.28
150	5.253	874.84	76.18	67.19	3.98
160	5.603	879.70	81.04	72.03	4.84
170	5.933	885.50	86.84	77.80	5.77
180	6.304	888.40	89.74	80.69	2.89
190	6.654	895.40	96.74	87.69	7.00
200	7.004	902.40	103.74	94.62	6.93

Tableau B.

EXPÉRIENCE N° 2. EN PROCÉDANT PAR DÉCHARGEMENT.

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS apparentes corrigées.	FLEXIONS corrigées de la flèche permanente.	CHIFFRES du tableau A.
200	7.004	902.40	103.74	94.62	90.97	94.62
160	5.603	882.56	83.90	74.78	71.13	72.03
120	4.202	862.50	63.84	54.83	51.18	51.56
80	2.802	844.82	45.16	36.21	32.56	33.82
40	1.401	826.82	28.16	19.45	15.80	17.08
0	0	801.16	2.50	3.65	0	0

Expériences sur le rail IV.

Rail en acier de l'usine de Terre-Noire.
Section $\omega = 0^{mq},004870$.
Poids par mètre $\pi = 37^{k},50$.
Moment d'inertie $I = 0,00000928$.
Longueur totale du rail $= 6^{m},00$.
Longueur du rail entre les appuis $2C = 5^{m},00$.

Sept expériences ont été faites, savoir : quatre en chargeant, trois en déchargeant; les déformations latérales ont été telles, dans la dernière expérience, qu'il aurait été inutile de continuer les essais.

Expérience n° 1. Tableau C. — Jusqu'à la charge $P = 3502$ kilogrammes, les flèches sont proportionnelles aux charges et le coefficient d'élasticité correspondant à cette limite est $E = 21.67 \times 10^9$; la plus grande tension intérieure est alors $R = 29.27 \times 10^6$, et le rapport f_1 entre les flèches et la portée $f_1 = \frac{1}{103}$.

Au delà de l'observation 6, la courbe représentative s'infléchit assez brusquement. L'élasticité est visiblement altérée et l'on peut ainsi estimer à $169,26 - 45,35 = 123,91$ le supplément de flèche déterminé dans la période d'altération. Nous verrons que ce chiffre se rapproche beaucoup de la flèche permanente observée après la suppression de la pression.

Expérience n° 2. Tableau D. — La courbe représentative est très exactement une ligne droite depuis 4202 kilogrammes, l'élasticité est restée complète jusqu'au déchargement et, dans ces conditions, on a :

$$f = 59,57 ;\ f_1 = \frac{1}{84} ;\ E = 21,120 \times 10^9 ;\ R = 35,13 \times 10^6$$

Le coefficient d'élasticité a conservé sensiblement la même valeur, mais la plus grande tension correspondante est notablement augmentée.

Afin de compléter cette comparaison nous avons inscrit, en regard, les flèches mesurées dans les deux expériences et nous reconnaissons

ainsi qu'elles sont à peu près identiques pour les mêmes charges, si on les compte respectivement à partir des positions initiale et finale de l'axe neutre dans les deux opérations. Il n'y a de différence notable que pour la période correspondant aux charges supérieures à 4202 kilogrammes.

Expérience n° 3. Tableau E. — On a augmenté les charges successivement jusqu'à 5503 kilogrammes ; les flèches sont restées proportionnelles jusqu'à 4802 kilogrammes, et, à ne considérer que cette expérience, on trouve :

$$f = 64,47;\ f_1 = \frac{1}{77};\ E = 20,906 \times 10^9;\ R = 40,14 \times 10^6.$$

Expérience n° 4. Tableau F. — Nous voyons encore que le déchargement a déterminé des redressements réguliers, représentés, à l'exception du premier, par une ligne droite.

Le rail après le déchargement a conservé une flèche permanente de 178^{mm},87.

Expérience n° 5. Tableau G. — La proportionnalité entre les flèches et les charges n'a pas dépassé la limite indiquée par la série précédente, mais de 4800 à 5300 kilogrammes, les différences sont devenues beaucoup moindres que précédemment ; il y a une tendance marquée vers la régularisation de l'élasticité.

Expérience n° 6. Tableau H. — Le rail est devenu plus complètement élastique jusqu'à 5800 kilogrammes, et la flèche permanente est devenue 277,86.

Expérience n° 7. Tableau I. — L'élasticité se prolonge ici jusqu'à 5953 kilogrammes et, un dérangement s'étant produit dans les calages, nous ne connaissons de la courbe de retour que les deux points extrêmes. La flexion permanente s'est élevée jusqu'à 356,82.

Le coefficient d'élasticité résultant de cette expérience, considérée dans les limites qui viennent d'être indiquées, est :

$$E = 20,926 \times 10^9.$$

RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES SÉRIES D'EXPÉRIENCES.

Tableau J.

Nous avons résumé dans un tableau spécial toutes les indications résultant des expériences successives faites sur le rail n° IV en y ajoutant le tableau des différences pour chaque variation de vingt divisions du manomètre, en ce qui concerne la première et la septième expérience.

On peut conclure immédiatement de l'examen de tous ces chiffres que :

1° La loi de la proportionnalité, entre les flèches et les charges qui les déterminent, est mieux vérifiée par l'expérience n° 7 que par l'expérience n° 1, puisque les différences sont plus régulières.

2° Elle est surtout exacte pour les flèches intermédiaires alors que les ressorts moléculaires ont été préalablement mis en jeu par les opérations de chargement ou de déchargement déjà effectuées, ainsi qu'on peut le reconnaître par la colonne des différences secondes.

3° La plus complète élasticité du solide doit être attribuée à l'égalité qui s'établit dans le fonctionnement des ressorts moléculaires à la suite des premières déformations.

4° Le coefficient d'élasticité qui en résulte paraît être un peu plus faible que celui que l'on déduit de la première période élastique :

20,92 au lieu de 21,670.

5° L'effort maximum auquel le solide peut résister sans déformation permanente augmente dans une proportion notable depuis $R = 29,27 \times 10^6$ jusqu'à $R = 49,755 \times 10^6$ pour la dernière période élastique.

Tableau C.

EXPÉRIENCE N° 1. EN OPÉRANT PAR AUGMENTATION DE CHARGE (2 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	FLEXIONS partielles.
0	0	799.12	0	0	0
20	700	812.74	13.62	8.43	8.43
40	1 401	820.16	21.04	15.81	7.38
60	2 101	831.08	31.96	26.73	10.92
80	2 802	841.08	41.96	36.73	10.00
100	3 502	850.76	51.64	45.35	8.62
120	4 202	864.08	64.96	59.57	14.22
140	4 903	941.80	142.68	137.25	77.68
145	4 978	973.82	174.70	169.26	32.01

Tableau D.

EXPÉRIENCE N° 2. EN AGISSANT PAR DÉCHARGEMENT (2 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.	FLÈCHES de l'expérience N° 1.
145	4 978	973.82	174.70	169.26	64.47	169.26
120	4 202	965.96	166.84	161.40	56.61	59.57
100	3 502	956.34	157.22	151.78	46.99	45.35
80	2 802	947.26	148.14	142.70	37 91	36.73
60	2 101	937.74	138.62	133.38	28.59	26.73
40	1 401	928.60	128.48	123.25	18.46	15.81
20	700	919.50	120.38	115.20	10.50	8.43
0	0	875.70	76.58	104.79	»	»

Tableau E.

EXPÉRIENCE N° 3. EN OPÉRANT PAR ADDITION DE CHARGE (1 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	»	821.42	»	»
20	700	854.24	32.82	9.66
40	1 401	863.10	41.68	18.24
60	2 101	872.55	51.13	27.56
80	2 802	881.80	60.38	36.75
100	3 502	890.44	69.02	43.23
120	4 202	900.20	78.78	53.98
140	4 903	909.78	88.36	64.47
145	5 078	922.68	101.26	77.35
150	5 253	949.48	128.06	104.19
155	5 428	968.10	146.68	122.61
160	5 603	990.08	168.66	144.44

Tableau F.

EXPÉRIENCE N° 4. EN OPÉRANT PAR DÉCHARGEMENT (4 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.	FLÈCHES de l'expérience N° 3.
160	5 603	990.08	168.66	144.44	70.36	144.44
140	4 903	986.92	165.50	141.31	67.23	64.47
120	4 202	978.80	157.38	133.19	59.12	53.98
100	3 502	970.72	149.30	125.11	51.03	45.23
80	2 802	960.46	139.04	115.00	40.92	36.75
60	2 101	950.54	128.12	104.11	30.03	27.56
40	1 401	940.90	118.48	94.60	20.32	18.24
20	700	929.64	108.22	84.43	10.35	9.66
0	0	877.46	56.04	74.08	»	»

Tableau G.

EXPÉRIENCE N° 5. EN OPÉRANT PAR CHARGEMENT (6 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	809.70	»	»
20	700	824.06	14.36	9.93
40	1 401	832.96	23.26	18.64
60	2 101	842.14	32.44	27.64
80	2 802	851.94	42.24	37.33
100	3 502	860.86	51.16	46.14
120	4 202	870.28	60.58	55.45
140	4 903	879.18	69.48	64.32
145	5 078	882.04	72.34	67.18
150	5 253	885.52	75.82	70.48
155	5 428	888.34	78.64	73.25
160	5 603	928.32	118.62	113.06
165	5 778	980.02	170.32	163.72
170	5 953	992.24	182.54	175.83

Tableau H.

EXPÉRIENCE N° 6. EN OPÉRANT PAR DÉCHARGEMENT (6 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.	FLÈCHES de l'expérience N° 5.
170	5 953	992.24	182.54	175.83	76.84	175.83
160	5 603	990.78	181.08	174.37	75.38	113.06
140	4 903	985.88	176.18	169.37	70.38	64.32
120	4 202	977.58	167.88	161.27	62.28	55.45
100	3 502	966.92	157.22	150.76	51.77	46.14
80	2 802	957.68	147.98	141.72	42.73	37.33
60	2 101	946.56	136.86	130.90	31.91	27.64
40	1 401	935.16	125.46	120.05	21.06	18.64
20	700	925.86	116.16	110.90	11.91	9.93
0	0	884.46	74.76	98.99	»	»

Tableau I.

EXPÉRIENCE N° 7. EN OPÉRANT PAR CHARGEMENT (8 Mai 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	815.82	»	»
20	700	815.10	0.72	10.40
40	1 401	823.64	7.82	18.72
60	2 101	833.64	17.82	28.63
80	2 802	842.28	26.46	37.32
100	3 502	850.94	35.12	46.05
120	4 202	859.72	43.90	54.95
140	4 903	869.48	53.66	64.69
150	5 253	873.06	57.24	68.41
155	5 428	875.00	59.18	70.34
160	5 603	877.68	61.86	73.75
165	5 778	880.96	65.14	76.43
170	5 953	884.36	68.54	79.83
175	6 128			
170	5 953	896.60	80.78	90.09
175	6 128	948.94	133.12	140.91

Tableau J.

DE TOUTES LES DÉTERMINATIONS SUCCESSIVES.

PRESSIONS.	CHARGES.	FLÈCHES partielles.	EXPÉRIENCES N°s 1	2	3	4	5	6	7	DIFFÉRENCES.	
0	0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
20	700	8.43	8.43	10.59	9.66	10.35	9.93	11.91	10.40	10.40	»
40	1401	7.38	15.81	18.46	18.24	20.52	18.64	21.06	18.72	8.32	2.18
60	2101	10.92	26.73	28.59	27.56	30.03	27.64	31.91	28.63	9.61	1.29
80	2802	10.00	36.73	37.91	36.75	40.92	37.33	42.73	37.32	8.69	0.92
100	3502	8.62	45.35	46.99	45.23	51.03	46.14	51.77	46.05	8.73	0.04
120	4202	14.22	59.57	56.61	53.98	59.12	55.45	62.28	54.95	8.90	0.17
140	4903	77.68	137.25		64.47	67.23	64.32	70.38	64.69	9.74	0.16
145	5078		169.26	64.47	77.35		67.18				
150	5253						70.48		68.41		
155	5428						73.25		70.34		
160	5603						113.06	75.38	73.75	9.06	0.68
165	5770						163.72		76.43		
170	5953						175.83	76.84	79.83		
Flexions permanentes.				104.79		178.87		277.86		356.42	

Expériences sur le rail n° V. Tableau K. — Rail en acier de l'usine de Terre-Noire.

Section $\omega = 0^{mq},004760$.

Poids par mètre $\pi = 36^{k},65$.

Moment d'inertie $I = 0,00000935$.

Longueur totale du rail $6^{m},00$.

Longueur du rail entre les appuis $2C = 2^{m},80$.

Une seule expérience a été faite sur ce rail afin d'étudier son mode de déformation jusqu'à la rupture.

Les résultats sont très exactement proportionnels jusqu'à la charge de 10508 kilogrammes et, à partir de ce moment, la figure représentative dénote des flèches de plus en plus croissantes si ce n'est aux approches de la rupture, où l'on remarque au contraire une petite décroissance dans l'inclinaison de la courbe.

Le rail s'est fendu au milieu, suivant une surface transversale du côté de la plate-bande. Cette fissure se bifurque ensuite de manière à donner lieu à la formation d'un fragment symétrique, en forme

de ⁓ s'y raccordant par une déchirure qui suit à peu près le plan des fibres neutres.

On a pour ce rail

$$I = 20,822 \times 10^{9}.$$

Tableau K.

EXPÉRIENCE N° 1. EN OPÉRANT PAR CHARGEMENT.

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	795.52	»	»
20	700	815.54	20.02	1.54
40	1 401	817.10	21.58	3.05
60	2 101	818.68	23.16	4.57
80	2 802	820.26	24.74	6.06
100	3 502	821.90	26.38	7.68
120	4 202	823.52	28.00	9.22
140	4 903	825.26	29.74	10.92
160	5 603	826.96	31.44	12.60
180	6 304	828.58	33.06	14.19
200	7 004	830.52	35.00	16.03
220	7 705	832.10	36.58	17.67
240	8 405	834.04	38.52	19.58
260	9 106	835.76	40.24	21.28
280	9 806	838.06	42.54	23.46
300	10 508	840.40	44.88	25.80
320	11 206	842.86	47.34	28.22
340	11 906	846.22	50.70	30.52
360	12 606	851.82	56.30	37.08
380	13 307	880.00	84.48	65.26
390	13 657	889.96	94.44	75.20
400	14 007	897.48	101.96	82.70
410	14 358	906.26	110.74	91.47
420	14 708	914.30	118.78	98.51
430	15 058	925.54	130.02	110.78
440	15 409	929.40	133.88	114.63 et rupture.

Expériences sur le rail III. — Rail en acier de l'usine d'Imphy.

Section $\omega = 0^{mq},005020$.

Poids du mètre courant $\pi = 38^{k},65$.

Moment d'inertie $I = 0,00000936$.

Longueur totale du rail $3^{m},155$.

Longueur du rail entre les appuis 2C = 2^m,80.

Les essais pour le rail n° III sont plus complets puisqu'ils comprennent trois séries d'expériences.

Expérience n° 1. Tableau L. — Les charges ont été très considérables, et se sont élevées jusqu'à 16000 kilogrammes ; c'est-à-dire aussi loin qu'il était possible de les porter sans déterminer la rupture.

Les flexions ont été proportionnelles, jusqu'à 7700 kilogrammes et se sont élevées dans cette période jusqu'à 16,64, pour laquelle on a $E = 22,600 \times 10^9$, et la période irrégulière a permis de les augmenter jusqu'à 136,42.

Expérience n° 2. Tableau M. — Le déchargement a laissé une flèche permanente de 93,61, qui paraît être accompagnée de flexions proportionnelles plus grandes que dans la première série, ainsi qu'on le voit immédiatement par les chiffres comparatifs du tableau de cette deuxième expérience.

Expérience n° 3. Tableau N. — Cette expérience a été conduite jusqu'à la rupture, en donnant des flexions un peu plus grandes que dans la première période élastique, à égalité de charge. Elles sont seulement restées proportionnelles beaucoup plus longtemps et le coefficient d'élasticité qui y correspond est devenu, pour la limite de 16809 kilogrammes,

$$E = 19,578 \times 10^9.$$

On peut dire que ce rail, devenu élastique jusqu'à la charge la plus voisine de celle qui a déterminé la rupture, a subi pendant cette amélioration, une réduction notable dans son coefficient d'élasticité qui s'est abaissé de 22,600 à 19,578.

La différence, beaucoup plus marquée, est toujours dans le même sens, et l'on remarque encore que les déformations sont toujours un peu plus rapides pendant la période de déchargement, comme si la flèche permanente tout entière n'était pas entièrement comprise dans les premières observations du déchargement.

Tableau M.

EXPÉRIENCE N° 2. PAR DÉCHARGEMENT (4 Mars 1868).

RESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.	FLÈCHES de l'expérience N° 1.
460	15 759	951.68	147.32	136.42	42.81	136.42
400	14 007	947.26	142.90	132.00	38.39	64.16
300	10 505	938.66	134.30	123.45	29.84	24.48
200	7 004	929.74	125.38	114.40	20.79	25.93
100	3 502	919.88	115.52	104.97	11.36	8.10
0	0	864.46	60.10	93.61	0	0

Tableau L.

EXPÉRIENCE N° 1. EN OPÉRANT PAR CHARGEMENTS SUCCESSIFS (4 Mars 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	804.36	»	»
20	700	815.76	11.40	1.57
40	1 401	817.50	13.14	3.40
60	2 101	819.54	15.18	5.38
80	2 802	820.84	16.48	6.59
100	3 502	822.40	18.04	8.10
120	4 202	824.66	20.30	10.30
140	4 903	826.08	21.72	11.64
160	5 603	827.70	23.34	13.23
180	6 304	829.40	25.04	14.86
200	7 004	830.52	26.16	15.93
220	7 704	832.28	27.92	16.64
240	8 404	833.94	29.58	18.27
260	9 105	835.54	31.18	20.73
280	9 805	837.68	33.32	22.92
300	10 505	839.28	34.92	24.48
320	11 206	841.48	36.12	25.66
340	11 906	844.08	39.72	29.23
360	12 606	851.92	46.56	36.03
380	13 307	864.74	60.38	49.81
400	14 007	879.12	74.76	64.16
420	14 708	906.14	101.78	91.04
440	15 409	927.02	122.66	111.90
460	15 759	951.68	147.32	136.41

Tableau N.

EXPÉRIENCE N° 3. EN OPÉRANT PAR AUGMENTATION DE CHARGE (25 Avril 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	»	830.46	»	»
20	700	843.00	12.54	2.79
40	1 401	844.52	14.06	4.05
60	2 101	846.04	15.58	5.46
80	2 802	847.72	17.26	7.06
100	3 502	849.76	19.30	9.08
120	4 202	850.90	20.44	10.18
140	4 903	852.82	22.36	12.06
160	5 603	854.68	24.22	13.90
180	6 304	856.24	25.78	15.42
200	7 004	857.90	27.44	17.04
220	7 704	859.50	29.04	18.53
240	8 404	861.28	30.82	20.29
260	9 105	863.06	32.60	22.06
280	9 805	864.72	34.26	23.66
300	10 505	866.42	35.92	25.30
320	11 206	867.94	37.48	26.84
340	11 906	870.10	39.64	28.99
360	12 606	871.64	41.18	30.53
380	13 307	873.48	43.02	32.37
400	14 007	874.86	44.40	33.64
420	14 708	876.90	46.44	35.68
440	15 409	878.92	48.46	37.68
460	15 759	880.80	50.34	39.47
480	16 460	883.30	52.84	41.95
500	17 160	Rupture.		

TABLEAU DE TOUTES LES OBSERVATIONS.

PRESSIONS.	CHARGES.	FLÈCHES OBSERVÉES PENDANT LES EXPÉRIENCES N° 1.	N° 2.	N° 3.
0	0	»	»	»
20	700	1.57		2.79
40	1 401	3.40		4.05
60	2 101	5.38		5.46
80	2 802	6.59		7.06
100	3 502	8.10	11.36	9.08
120	4 202	10.30		10.18
140	4 903	11.64		12.06
160	5 603	13.23		13.90
180	6 304	14.86		15.42
200	7 004	15.98	20.79	17.04
220	7 704	16.64		18.53
240	8 404	18.27		20.29
260	9 105	20.73		22.06
280	9 805	22.92		23.66
300	10 505	24.48	29.84	25.30
320	11 206	25.66		26.84
340	11 906	29.23		28.99
360	12 606	36.08		30.53
380	13 307	49.81		32.37
400	14 007	64.16	38.39	33.64
420	14 708	91.04		35.68
440	15 409	111.90		37.68
460	15 759	136.42	42.81	39.47
480	16 460			41.95
500	17 160			

Observations communes aux quatre rails d'acier. — Non seulement on a retrouvé pour la portée de $2^m,80$ des indications analogues à celles qu'avait fournies la portée de 5 mètres, mais il est facile de constater que dans la période élastique les flèches proportionnelles ont varié dans le rapport des cubes des portées.

Ce rapport a pour valeur 5,68, et l'égalité dont nous parlons ici doit être attribuée à ce que les quatre rails ont à peu près le même moment d'inertie. Dans les derniers essais, les barres ayant une portée moindre, les flèches sont restées beaucoup plus petites, mais les valeurs de R ont atteint les mêmes limites que précédemment.

Expériences sur les rails en fer.

Expérience sur le rail n° II.

Rail en fer des usines de M. de Wendel.

Section $\omega = 0^{mq},004340$.

Poids par mètre $\pi = 38^k,65$.

Moment d'inertie $I = 0,00000829$.

Longueur totale du rail $= 6^m,00$.

Longueur du rail entre les appuis $2C = 5^m,00$.

Il était encore plus important de démontrer pour le fer, comme pour l'acier, que la flexion permanente n'est pas appréciable lorsque l'on se maintient en deçà de la limite d'élasticité. C'est pour atteindre ce but que l'on a disposé du rail n° II, sur lequel on n'a fait que deux déterminations.

Tableau P. Expérience n° 1. — Chargement successif jusqu'à 3502 kilogrammes, avec observation des flèches qui sont restées très sensiblement proportionnelles.

Cette expérience donne $E = 21,936 \times 10^9$.

Tableau Q. Expérience n° 2. — Diagramme plus régulier que pour le chargement; flexion permanente de 1,35 millimètre seulement; superposition presque complète des deux tracés établissant cette première circonstance que la limite d'élasticité n'a pas été dépassée d'une manière appréciable.

Tableau P.

EXPÉRIENCE N° 1. EN OPÉRANT PAR CHARGEMENT (17 Février 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	802.76	»	»
10	350	815.60	12.84	3.48
20	700	821.06	18.30	9.95
30	1 051	825.16	22.40	13.82
40	1 401	829.82	27.06	18.42
50	1 751	836.70	33.94	25.25
60	2 101	841.90	39.04	30.42
70	2 451	848.44	45.68	36.95
80	2 802	851.58	48.82	40.05
90	3 152	857.28	54.52	45.73
100	3 502	863.00	60.24	51.43

Tableau Q.

EXPÉRIENCE N° 2. EN OPÉRANT PAR DÉCHARGEMENT (17 Février 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.	FLÈCHES de l'expérience N° 1.
100	3 502	863.00	60.24	51.43	50.08	51.43
80	2 802	853.50	50.74	41.93	40.58	40.05
60	2 101	842.20	39.44	30.65	29.30	30.42
40	1 401	833.50	30.74	21.95	20.60	18.82
20	700	822.44	19.68	10.95	9.55	9.95
0	»	801.00	1.76	1.35	0	0

Expériences sur le rail VI. — Rail en fer des usines de Seraing.

Section $\omega = 0^{mq},005130$.

Poids par mètre $\pi = 39^{k},50$.

Moment d'inertie $I = 0,00000999$.

Longueur totale du rail $6^{m},00$.

Longueur du rail entre les appuis $2C = 5^{m},00$.

Nous n'avons non plus, pour ce rail, qu'une seule expérience de

chargement et une expérience de déchargement; mais les essais ont déterminé une flexion permanente beaucoup plus grande.

Expérience n° 1. Tableau R. — Les flexions ont été proportionnelles jusqu'à 2802 kilogrammes; on a plus que doublé la flèche correspondante en surchargeant jusqu'à 4552 kilogrammes. Cette expérience donne $E = 21{,}987 \times 10^9$ lorsque le calcul est restreint à la première limite.

Expérience n° 2. Tableau S. — Le déchargement s'opère avec une grande régularité, laissant subsister une flèche permanente de 14,66; le coefficient d'élasticité résultant de cette expérience est :

$$E = 20{,}408 \times 10^9.$$

En même temps que les flexions se sont régularisées, la flexibilité est devenue un peu plus grande et le coefficient d'élasticité s'est réduit d'une manière très appréciable.

Tableau R.

EXPÉRIENCE N° 1. EN OPÉRANT PAR CHARGEMENT (19 Août 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	796.84	»	»
20	700	810.86	14.02	6.44
30	1 051	815.26	18.42	10.69
40	1 401	819.66	22.82	14.96
50	1 751	824.30	27.46	19.56
60	2 101	829.56	32.72	24.80
70	2 451	834.74	37.90	29.93
80	2 802	838.06	41.22	33.19
90	3 152	842.68	45.84	37.75
100	3 502	847.80	50.96	42.83
110	3 852	853.08	56.24	48.08
120	4 202	861.38	64.54	56.36
130	4 553	878.80	81.96	72.75

Tableau S.

EXPÉRIENCE N° 2. EN OPÉRANT PAR DÉCHARGEMENT (19 Août 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.	LECTURES au milieu.	FLÈCHES de l'expérience N° 1.
130	4 553	81.96	72.75	58.09	878.80	72.75
100	3 502	68.92	60.71	46.05	865.76	42.83
60	2 101	49.52	41.42	26.76	846.36	24.80
40	1 401	40.38	32.38	17.72	837.22	14.96
20	700	32.30	24.42	9.76	829.14	6.44
0	0	10.05	14.66	0	806.90	0

Expériences sur le rail I. — Rail en fer des usines de M. de Wendel.

Section $\omega = 0^{mq},004660$.

Poids par mètre $\pi = 35^{k},88$.

Moment d'inertie $I = 0,00000807$.

Longueur totale du rail $= 6^{m},00$.

Longueur du rail entre les appuis $2C = 5^{m},00$.

Nous avons, sur ce rail, huit déterminations successives, dont quelques-unes incomplètes sur plusieurs points.

Expérience n° 1. Tableau T. — Bonne proportionnalité jusqu'à la charge extrême de 3502 kilogrammes. Coefficient d'élasticité correspondant

$$E = 21,432 \times 10^9.$$

Expérience n° 2. Tableau U. — Grande concordance avec les résultats précédents, soit en éliminant, soit en considérant la flexion permanente de 1,44 millimètre.

Expériences n°s 3 et 4. Tableaux V et W. — Dans ces expériences les observations n'ayant été faites qu'à partir de la charge cor-

respondant à 5 divisions du manomètre, il a fallu corriger toutes les lectures, en y ajoutant une flèche supplémentaire de 2,60 pour tenir compte de cette charge initiale.

La loi de proportionnalité ne se maintient encore que jusqu'à la charge de 3502 kilogrammes, mais on quadruple la flèche en portant l'effort jusqu'à 4902 kilogrammes, ce qui détermine une flèche permanente de 100,75.

On trouve pour ces expériences une valeur de E qui semble exagérée : $E = 23,281 \times 10^9$.

Expérience n° 5. Tableau X. — Le rail est devenu parfaitement élastique jusqu'à la charge de 4800 kilogrammes ; mais on dépasse cette limite et l'on obtient une flèche totale de 118,97.

$$E = 22,900 \times 10^9.$$

Expérience n° 6. Tableau Y. — Déchargement accusant une nouvelle flexion permanente de 107,87.

Expérience n° 7. Tableau Z. — Flexions proportionnelles jusqu'à 5953 kilogrammes.

$$E = 20,781 \times 10^9.$$

La flèche permanente n'a pu être déterminée avec une suffisante exactitude, par suite d'une flexion latérale trop prononcée qui s'est produite au dernier moment.

Tableau T.

EXPÉRIENCE N° 1. EN AUGMENTANT LES CHARGES (13 Septembre 1867).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	808.16	»	»
20	700	817.48	9.32	8.62
40	1 401	829.42	21.26	20.50
60	2 101	839.08	30.92	30.12
80	2 802	850.06	41.90	41.06
100	3 502	861.76	53.60	52.73

Tableau U.

EXPÉRIENCE N° 2. EN OPÉRANT PAR DÉCHARGEMENT (18 Septembre 1867).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.
100	3 502	861.76	53.60	52.73	51.29
60	2 101	840.22	32.06	31.01	29.57
20	700	819.78	11.62	10.62	9.18
0	0	809.36	1.20	1.44	0

Tableau V.

EXPÉRIENCE N° 3. EN AUGMENTANT LES CHARGES (23 Septembre 1867).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
5	175	810.06	»	0 + 2.60 = 2.60
20	700	819.96	9.90	7.79 + 2.60 = 10.39
40	1 401	829.87	19.81	17.67 + 2.60 = 20.27
60	2 101	839.92	29.86	27.66 + 2.60 = 30.26
80	2 802	851.54	41.48	39.18 + 2.60 = 41.78
100	3 502	861.78	51.92	48.54 + 2.60 = 51.14
120	4 202	877.26	67.20	64.82 + 2.60 = 67.42
140	4 903	993.44	183.38	180.82 + 2.60 = 183.42

Tableau W.

EXPÉRIENCE N° 4. EN DÉCHARGEANT (23 Septembre 1867).

PRESSIONS au manomètre.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
140	183.30	183.42
0	100.75	100.75

Tableau X.

EXPÉRIENCE N° 5. EN AUGMENTANT LES CHARGES (24 Janvier 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	836.56	»	»
20	700	860.96	24.40	5.20
30	1 051	866.24	29.68	10.15
40	1 401	872.66	36.10	16.52
50	1 751	878.32	41.76	21.99
60	2 101	883.80	47.24	27.37
70	2 451	887.66	51.10	31.17
80	2 802	894 44	57.88	37.88
90	3 152	899.86	63.30	43.14
100	3 502	904.36	67.80	46.63
110	3 852	909.56	73.00	52.80
120	4 202	916.22	79.66	59.26
130	4 553	921.36	84.80	64.32
140	4 903	926.22	89.66	69.09
150	5 253	935.06	98.50	77.85
160	5 603	941.32	104.76	84.10
170	5 953	976.20	139.64	118.97

Tableau Y.

EXPÉRIENCE N° 6. EN DÉCHARGEANT (24 Janvier 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.	DÉDUCTION de la flèche permanente.
170	5 953	976.20	139.64	118.97	86.40
150	5 253	973.36	136.80	116.14	83.57
130	4 553	961.96	125.40	104.67	72 10
110	3 852	951.66	115.10	94.51	61.94
90	3 152	938.84	120.28	81.76	49.19
70	2 451	927.26	90.70	70.26	37.69
50	1 751	914.49	77.90	57.60	25.03
30	1 051	904.28	67.72	47.48	15.11
0	0	859.32	22.86	32.57	0

Tableau Z.

EXPÉRIENCE N° 7. EN AUGMENTANT LES CHARGES (1er Février 1868).

PRESSIONS au manomètre.	CHARGES en kilogrammes.	LECTURES au milieu.	FLEXIONS apparentes.	FLEXIONS corrigées.
0	0	902.46	»	»
50	1 751	931.34	18.88	24.20
100	3 502	947.54	45.08	50.11
150	5 253	976.44	73.98	78.95
170	5 953	989.98	87.52	92.44
180	6 304	1073.90	171.44	176.59

Tableau ZZ.

DE TOUTES LES OBSERVATIONS DANS LES EXPÉRIENCES DE 1 A 7.

PRESSIONS.	CHARGES.	FLÈCHES OBSERVÉES PENDANT LES EXPÉRIENCES Nos					
		1.	2.	3 & 4.	5.	6.	7.
20	700	8.62	9.18	10.39	5.20		
30	1 051				10.15	15.11	
40	1 401	20.50		20.27	16.52		
50	1 751				21.99	25.03	24.20
60	2 101	30.02	29.57	30.26	27.37		
70	2 451				31.17	37.69	
80	2 802	41.06		41.78	37.88		
90	3 152				43.14	49.19	
100	3 502	52.73	51.29	51.14	46.63		50.11
110	3 852				52.80	61.94	
120	4 202			67.42	59.26		
130	4 553				64.32	72.10	
140	4 903			183.42	69.09		
150	5 253				77.85	83.57	78.95
160	5 603				84.10		
170	5 953				118.97		92.44
180	6 304						176.59

Résultat des différentes séries d'expériences. — Encore bien que pour le rail de fer n° I les résultats des lectures ne soient pas aussi nombreux que pour le rail d'acier n° IV, le tableau général suffit

cependant pour conduire aux mêmes conclusions. Les différents tracés affectent partout une disposition rectiligne d'autant plus prolongée qu'ils se rapportent aux dernières expériences. Leur inclinaison varie très peu, mais on reconnaît encore une tendance à l'augmentation de son coefficient angulaire, ou, ce qui revient au même, vers la diminution du coefficient d'élasticité.

CONCLUSIONS.

Les déterminations numériques dont il vient d'être rendu compte vérifient accessoirement les lois relatives à la flexion des poutres de fer et d'acier, tant sous le rapport de la position de l'axe neutre qu'en ce qui concerne, pour la période d'élasticité, la proportionnalité directe des flèches aux charges et leur proportionnalité inverse aux cubes de la portée.

Elles démontrent que pour ces deux métaux dans leur état industriel, le coefficient d'élasticité est à peu près le même et mesuré par le nombre $E = 21 \times 10^9$, ainsi d'ailleurs que nous l'avions reconnu précédemment par des expériences spécialement faites dans ce but en 1857 et 1859, sur des fers de Suède et les aciers de cémentation fabriqués avec ces fers.

Mais ce qui distingue surtout les expériences actuelles, c'est qu'elles démontrent que la limite d'élasticité s'éloigne, pour une même barre, à mesure qu'elle a été préalablement soumise à des actions plus énergiques, se traduisant par des flèches permanentes de plus en plus grandes, et que par la mise en fonction, plusieurs fois répétée, des ressorts moléculaires, cette limite d'élasticité peut être reculée jusque dans le voisinage de la rupture, sans que pour cela, le coefficient d'élasticité ait varié d'une manière très notable.

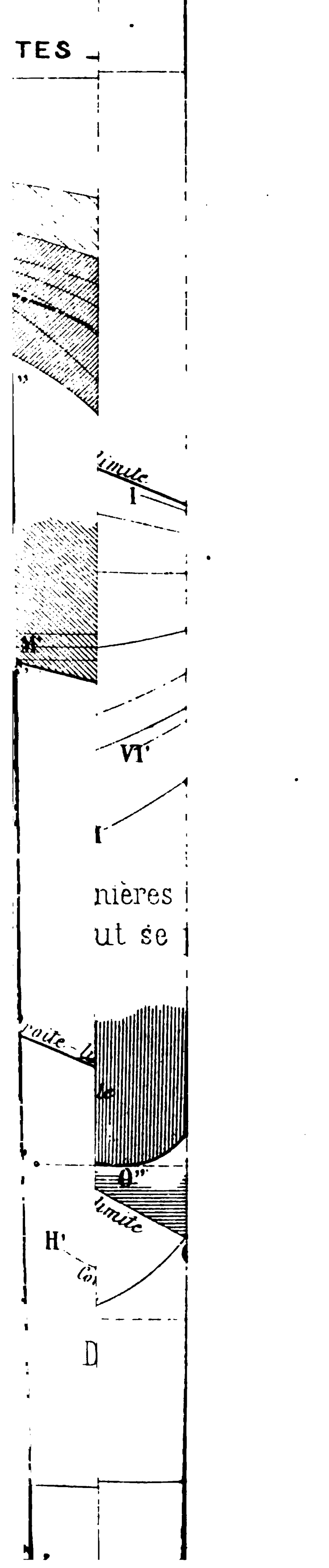
On observe toutefois un amoindrissement du coefficient primitif qui peut aller jusqu'au dixième de la première valeur.

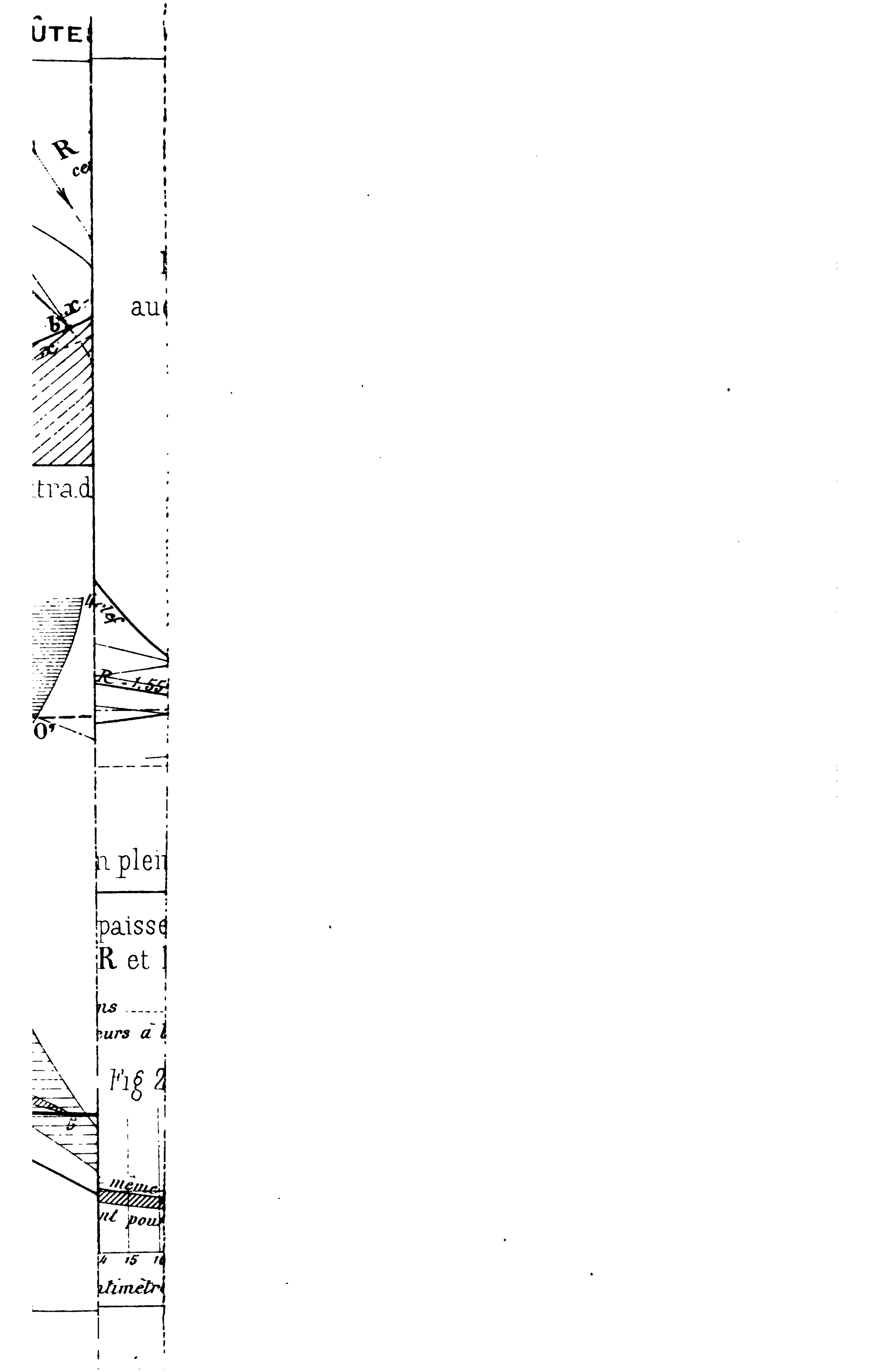
La matière, telle qu'elle sort des ateliers est, dans un état manifeste d'instabilité qui ne disparaît que par l'usage; elle devient, par suite des actions auxquelles elle est successivement soumise dans son emploi, plus homogène et plus élastique, mais en même temps un peu plus flexible.

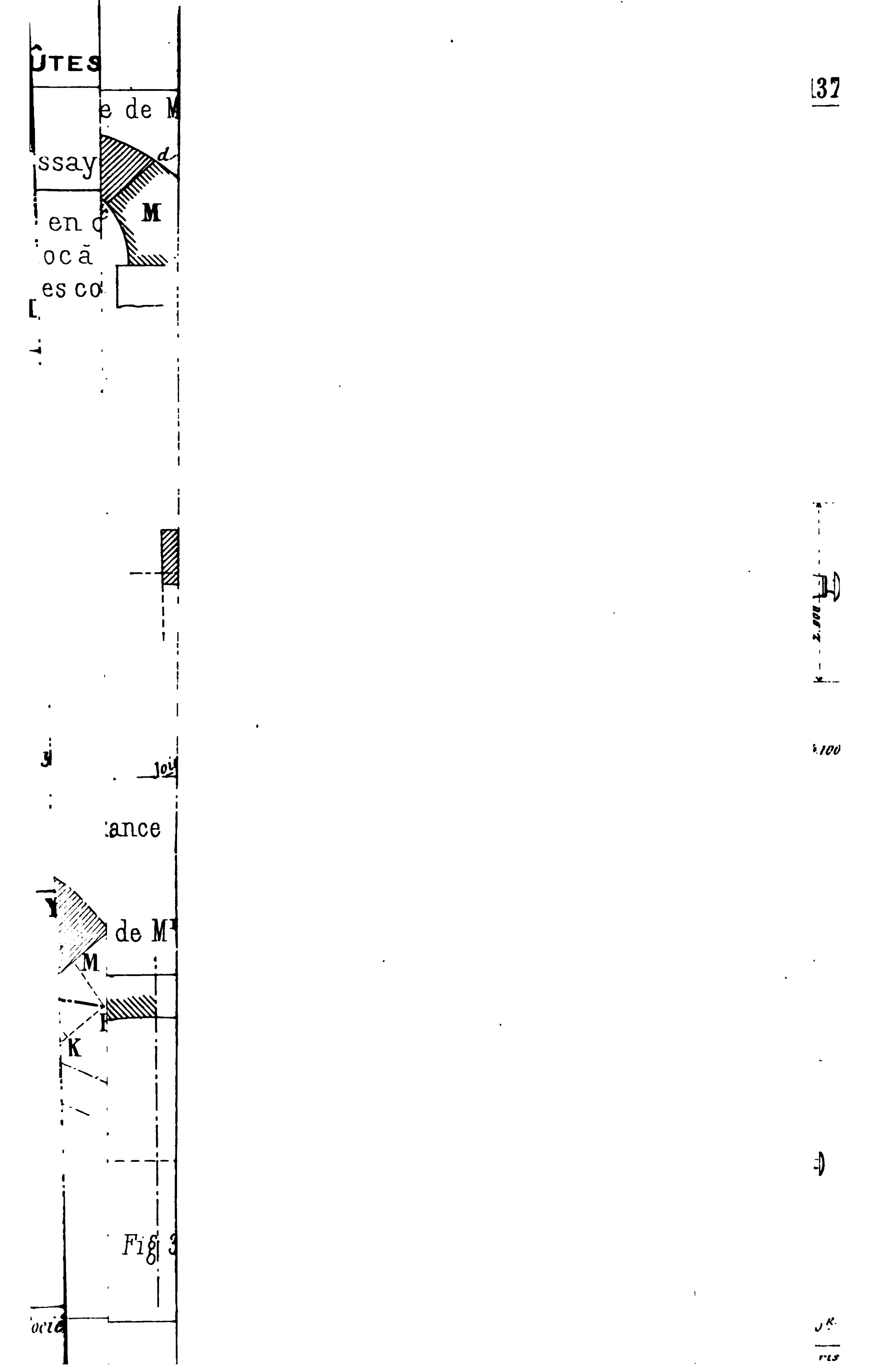
TABLE DES MATIÈRES

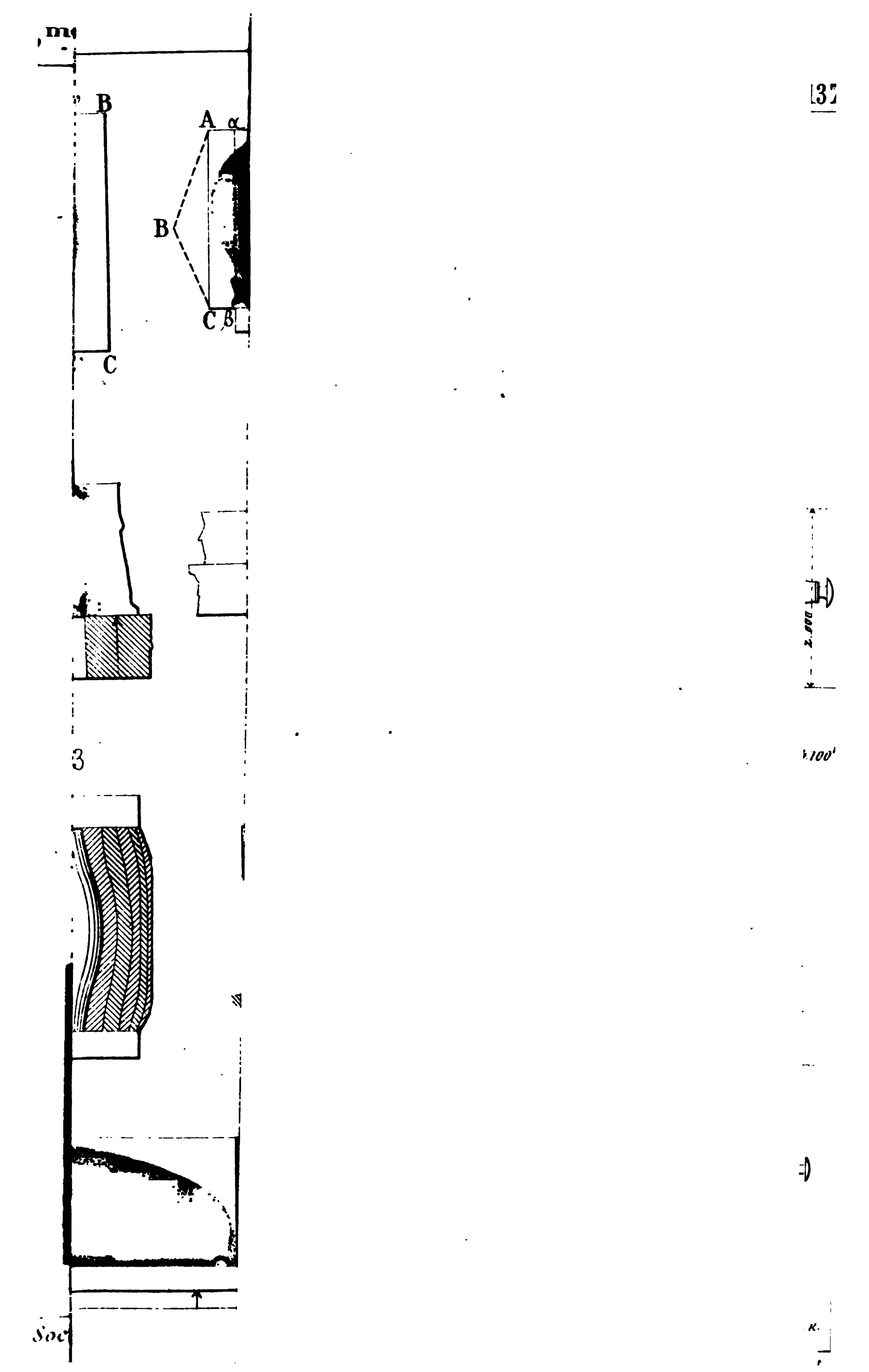
ANNÉE 1879.

PARIS. — IMP. E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

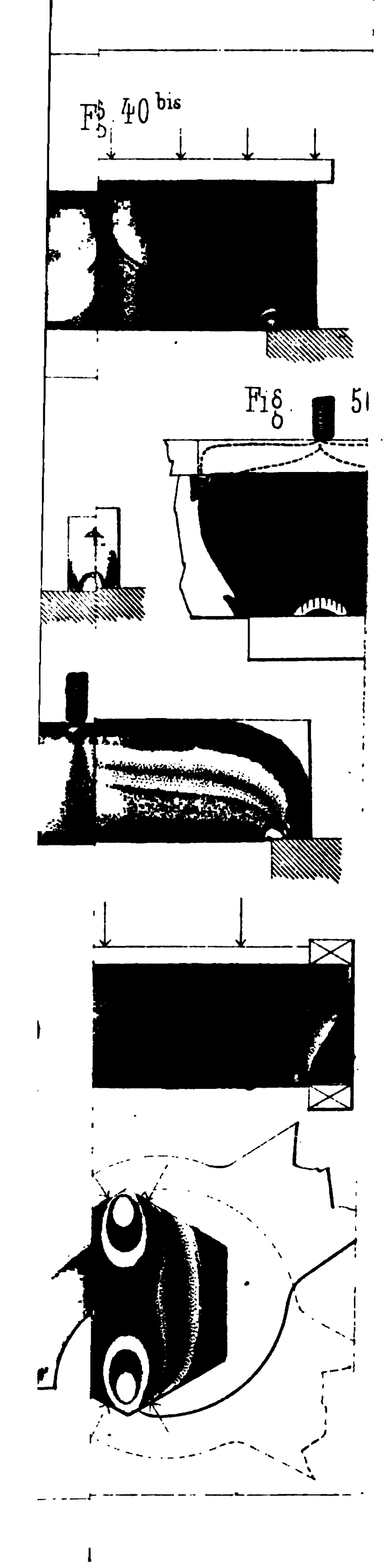

TES
limite
I
M'
VI'
I
nières
ut se
roite-li
O''
limite
H'
D


ÛTE
R
ce
au
b
x
x
trad
R .1.55
O'
n plei
paisse
R et
ns
eurs à l
Fig 2
même
nt pou
4
15
16
ntimètr


ÛTES
e de M
ssay
d
M
en c
oc ă
es co
Joi
ance
Y
de M
M
P
K
Fig 3
137
2.900
100



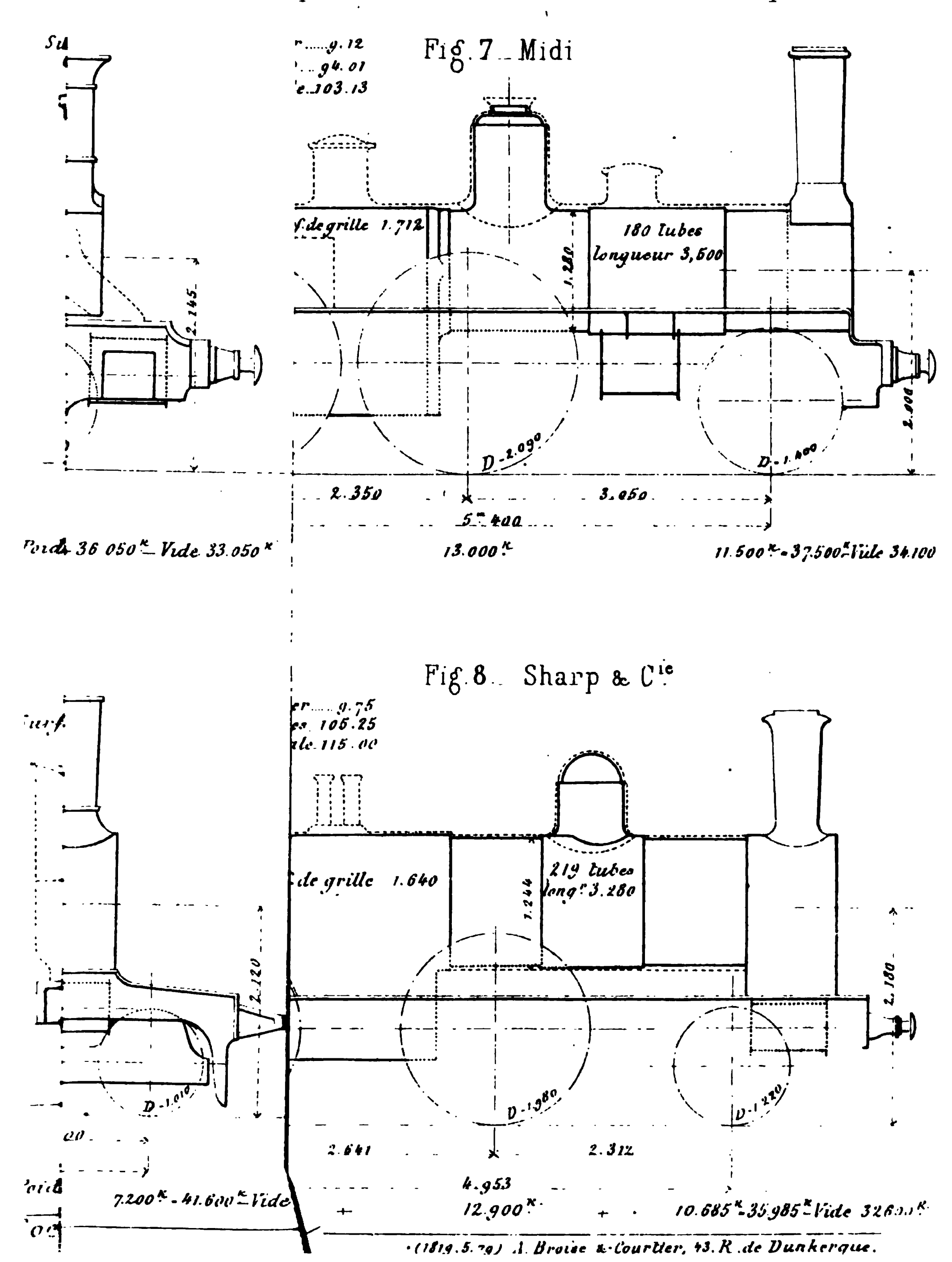
B
A
α
B
C
β
C
3
Soc
137



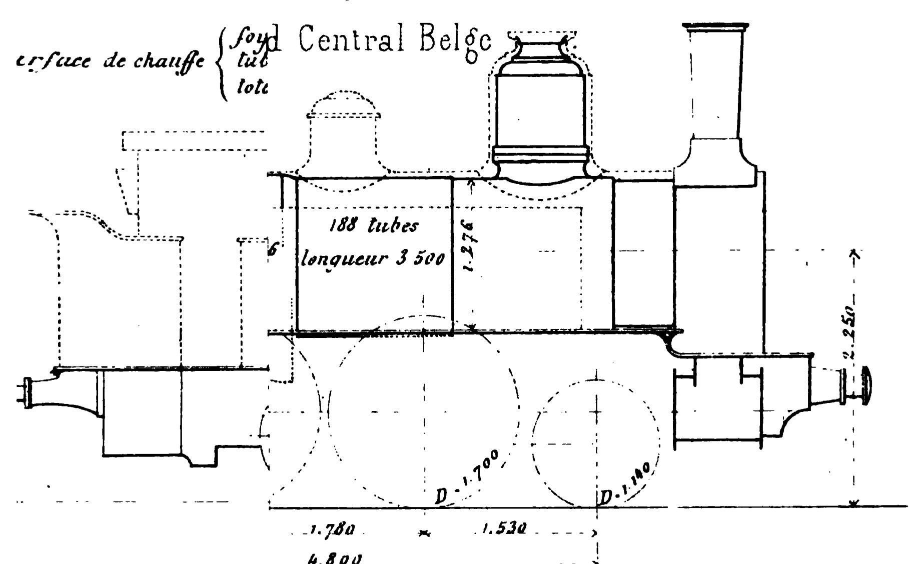
100

INCIPALES DE L'A

dessus de l'essie pris entre les deux essieux accouplés



)SITION DES ESSIEUX



Vide 41.900K

(1818. 5. 79) A Broise & Courtier, 43. R. de Dunkerque. Paris

à Moidrey

98.19	135.32 / 124.07	110.06	111.24	84.29	62.89	58.25
La Brébitière	Dompierre	*Parcé*	**CHATILLON**	La Roche	Gérard	**VITRE**
28	25	21	19	12	7	

ȝeur automatique pour cyl
irs de locomotives (Système

A. Pla
la
l'as
à vi

B. Ouv
les

A

B

ssion de la vapeur

er Bessemer
m.
udins.)

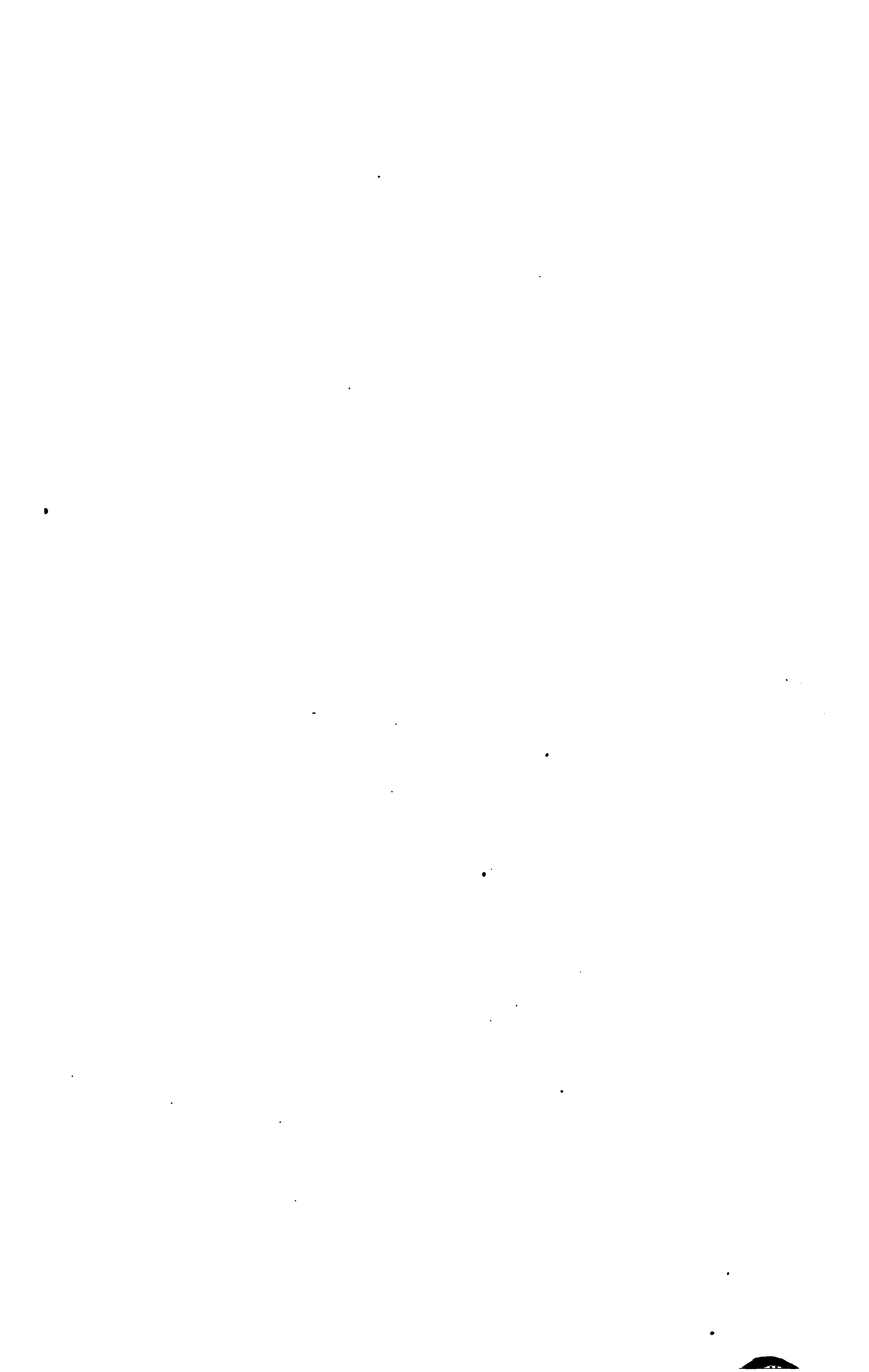
u au creuset
s.)

(2796) A. Broise & Courtier, 43, R. de Dunkerque, Paris

3 DE

ètre.

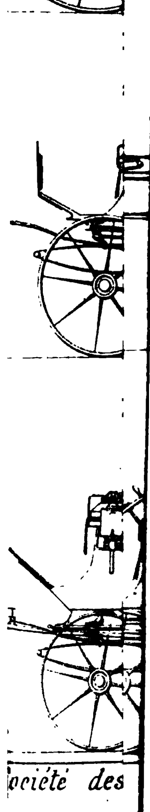
Socié



: Sèri

Ech

Fig. 52.



ociété des

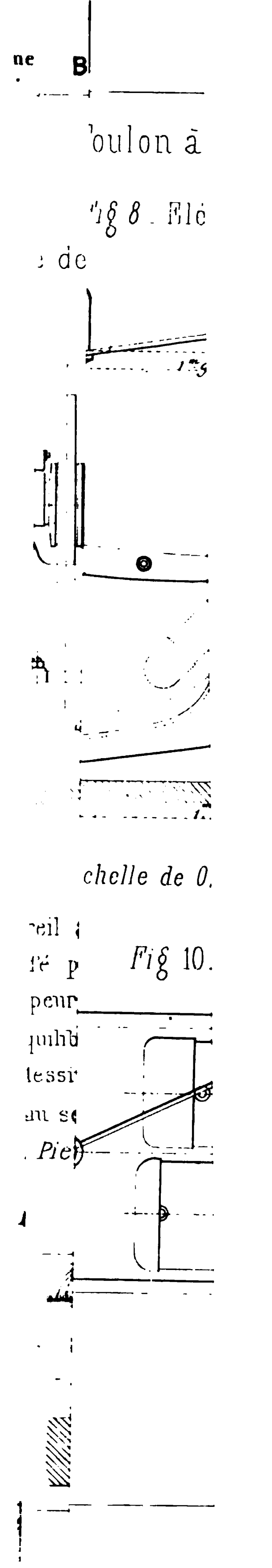
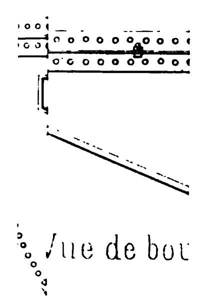
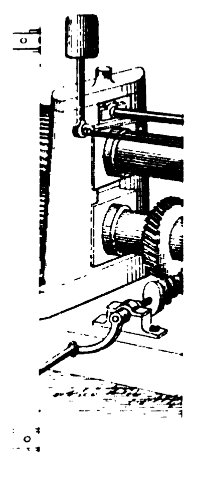

ne
B
oulon à
ig 8. Elé
de
chelle de 0,
Fig 10.
Pie

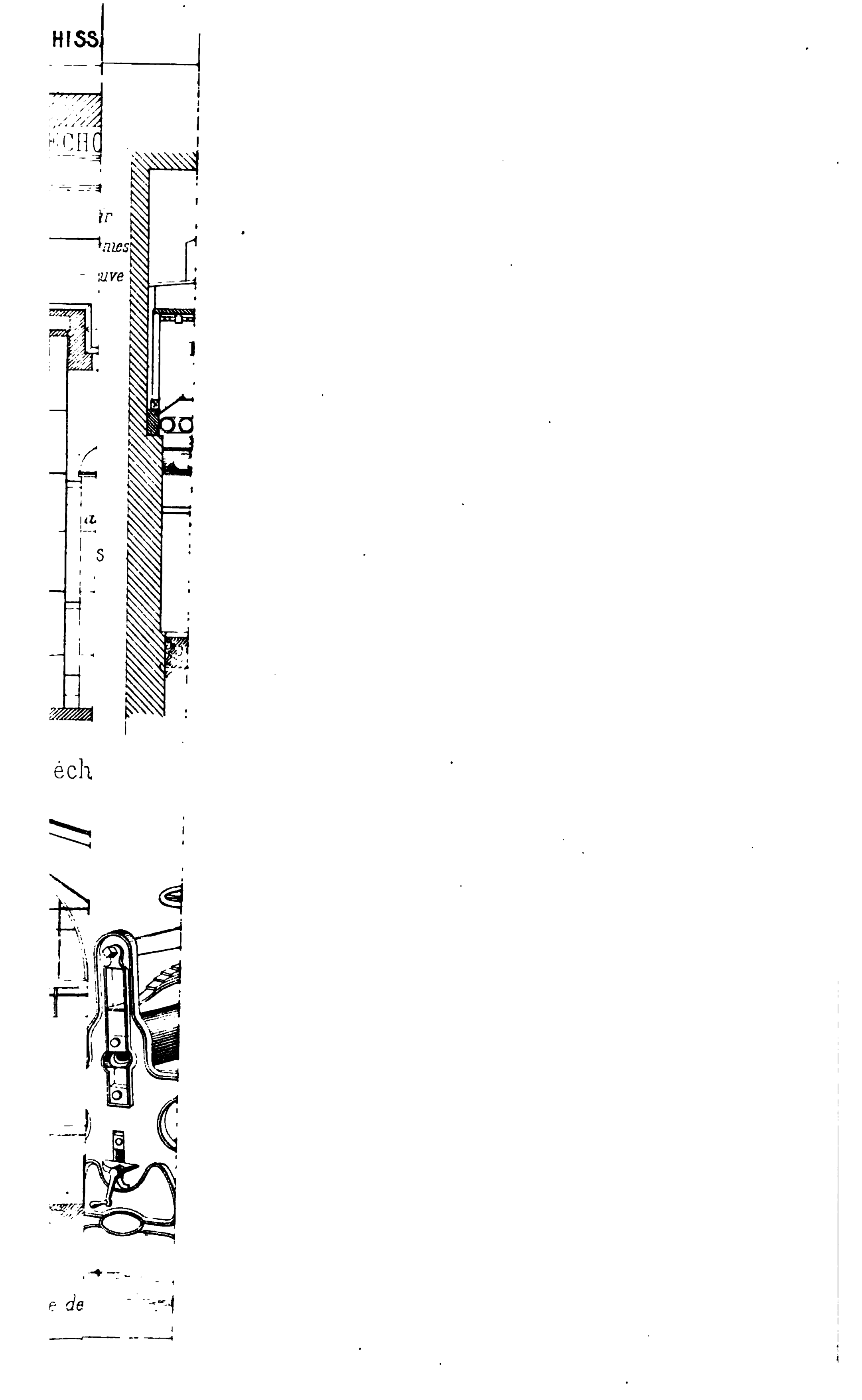
Fig 8



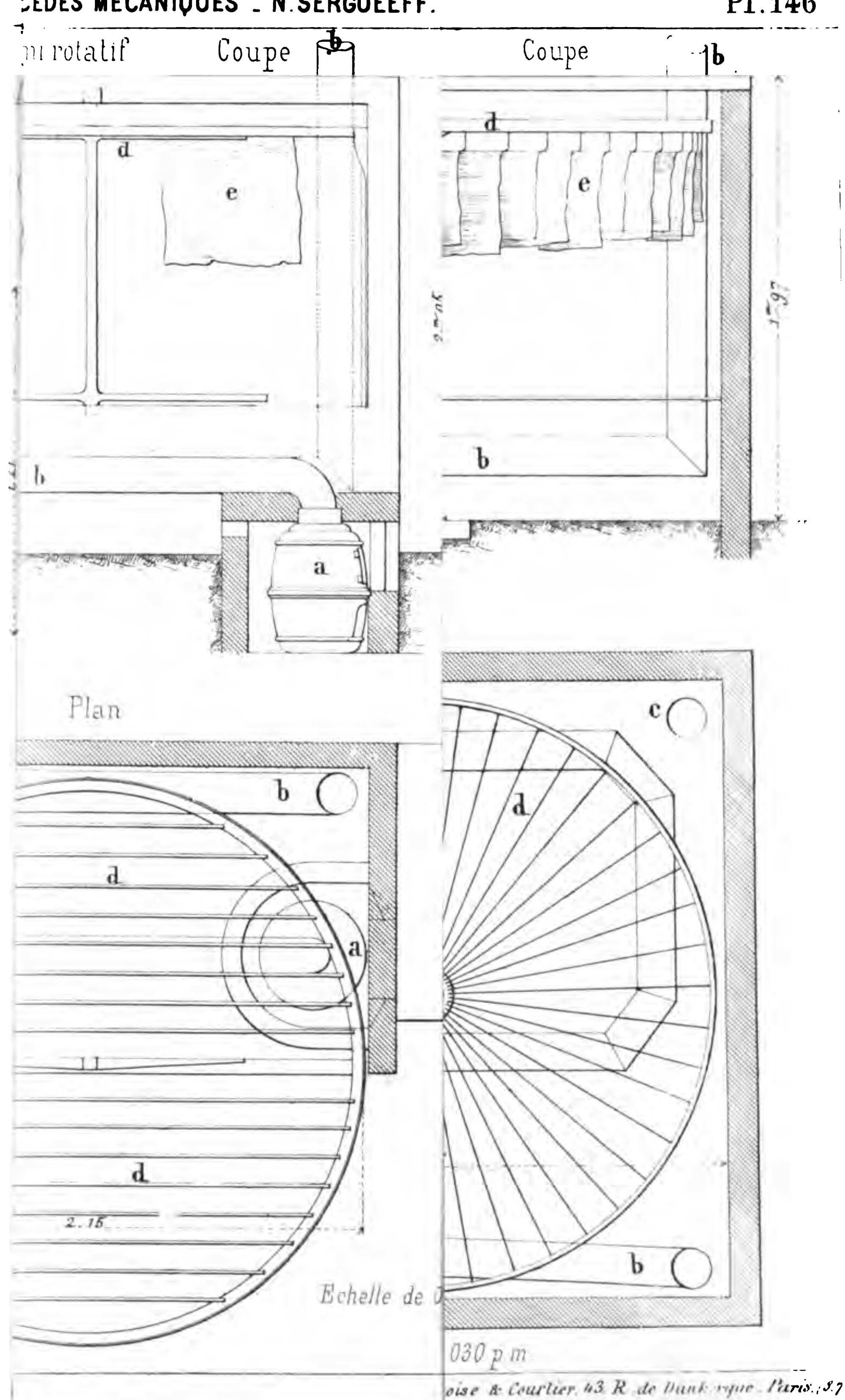
Vue de bou

—11_Machin





HISS
ÉCHO
ir
mes
uve
a
S
éch
e de


...m rotatif
Coupe
Coupe
b
b
d
e
d
e
b
b
a
1.97
Plan
b
c
d
d
a
d
2.15
b
Echelle de 0
030 p m

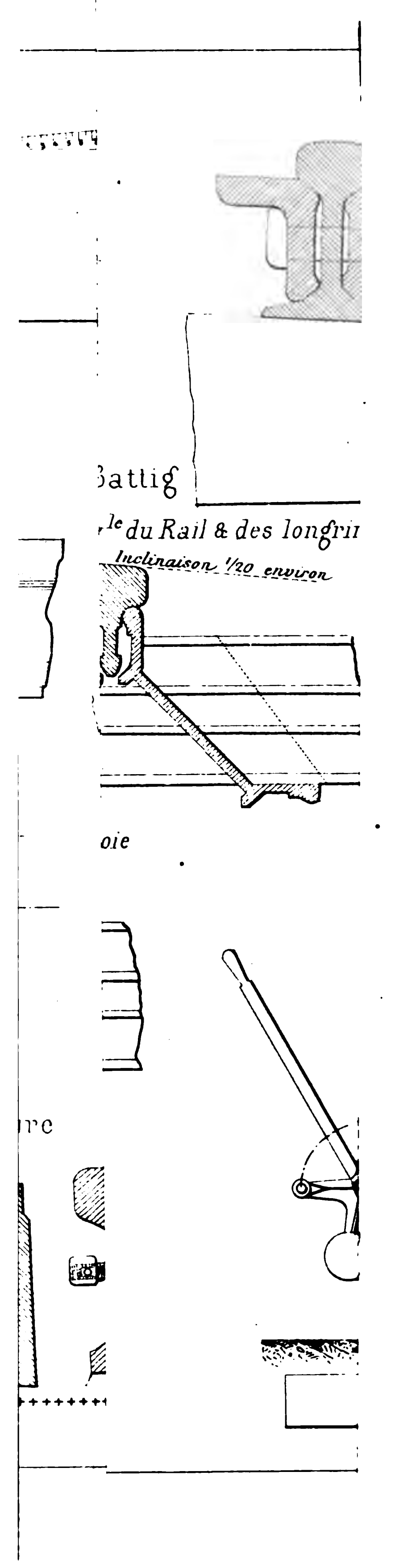
A VOIE NORMALE

.s

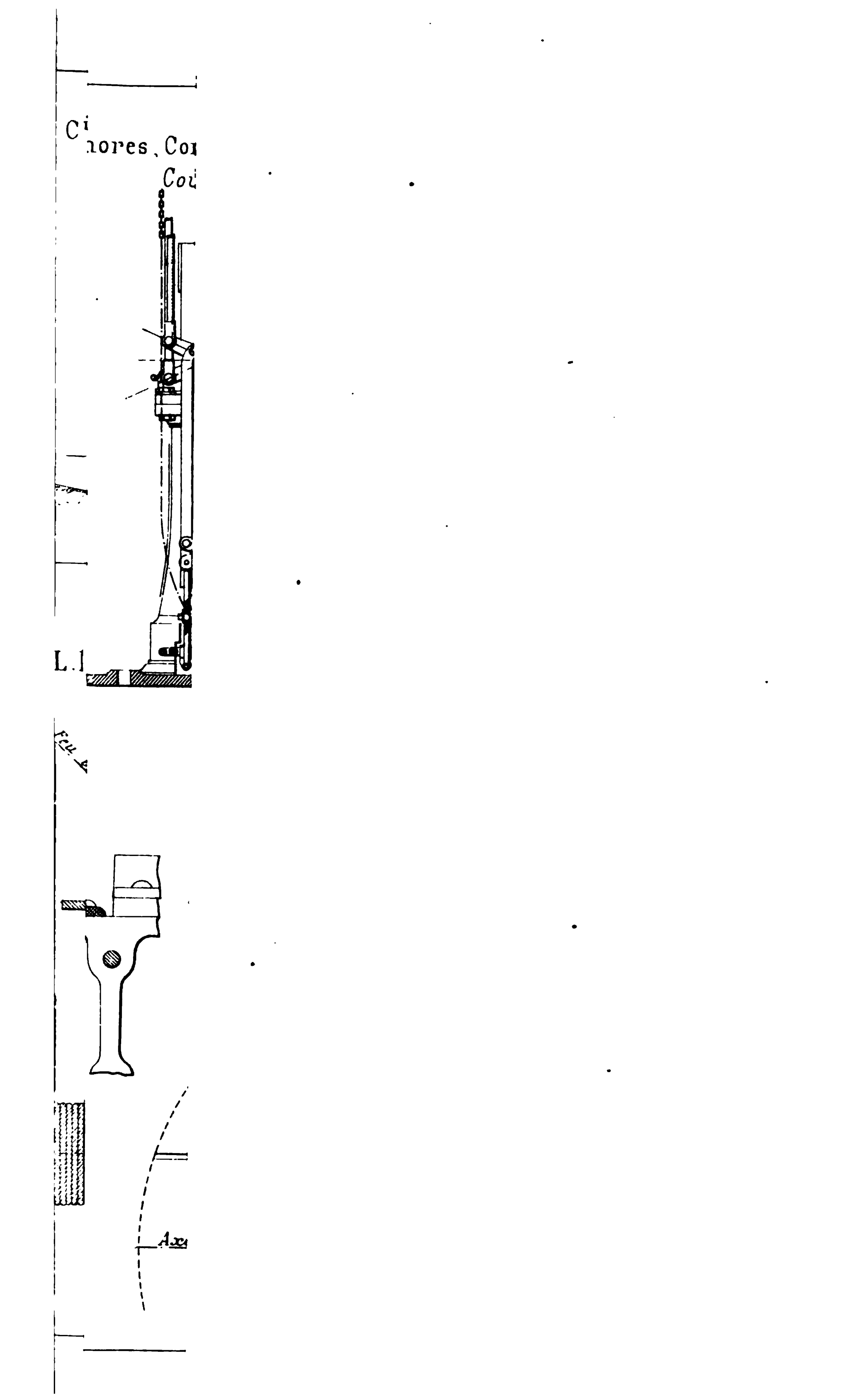
...IDS APPROXIMATIF du ...re courant de voie. (...s sont comptées en moyenne à ..., et les coins à 0^k500 l'un.)	OBSERVATIONS
...ont { acier......... 60k fer......... 4.850 bois......... 93.750	Joints chevauchés de 0m 600.
VOIES ORD. / VOIES FAT. acier 75.2 / 75.2 fonte 22.7 / 26.5 fer.. 5.7 / 6.2 bois. 83.0 / 96.0	La Cie du Midi emploie 7 traverses par longueur de rail, sur les fortes rampes, et dans les courbes de faible rayon. Un essai est fait avec rails de 11 mètres (soit deux fois 5m 50 pour la facilité des remplacements dans l'entretien). Un essai de pose de voie avec coussinet de 15 kilogrammes est également en cours.
...joint { acier......... 60k fer......... 5. bois......... 93.750	Les joints sont appuyés et chevauchés.
...nt { acier-rails et éclisses 80k fonte......... 37.50 fer......... 2.45 bois......... 95	Ce type de voie est adopté pour les renouvellements à exécuter sur la plupart des lignes construites antérieurement à 1875. Les éclisses sont en *acier*. Le coussinet employé avec le rail acier 38k 75 est compté à 15k dans les poids ci-contre.
...dont { acier......... 60k fer......... 4.200 bois......... 84.40	Type Vignole de 30k, acier, employé seulement pour les lignes nouvelles à faible trafic.
{ acier......... 76k8 fer......... 6.06 bois......... 100.	Le type P.-M. est destiné aux voies très fréquentées, l'emploi en est, actuellement, limité aux lignes de Paris-Marseille par Dijon, et de Saint-Etienne à Lyon (soit environ 1863k de simple voie).
acier 66k6 / 66.60 fer. 6.2 / 8.06 ...bois 75. / 103.	Dans le type P.-L.-M.-A. employé sur toutes les autres lignes, les traverses contre-joint sont munies de selles, ainsi que deux ou trois autres intermédiaires. Les profils des deux types P.-M. et P.-L.-M.-A. sont tels qu'ils peuvent être éclissés ensemble sans éclisse spéciale.
...rlé... ...ier 76.36 / 67.36 ...nte 20.73 / 24.20 ... 5.80 / 6.05 ...s. 83. / 96.	La septième traverse est ajoutée au fur et à mesure des réfections.

) Vo...

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.



Battig
le du Rail & des longri
Inclinaison 1/20 environ
oie
rc



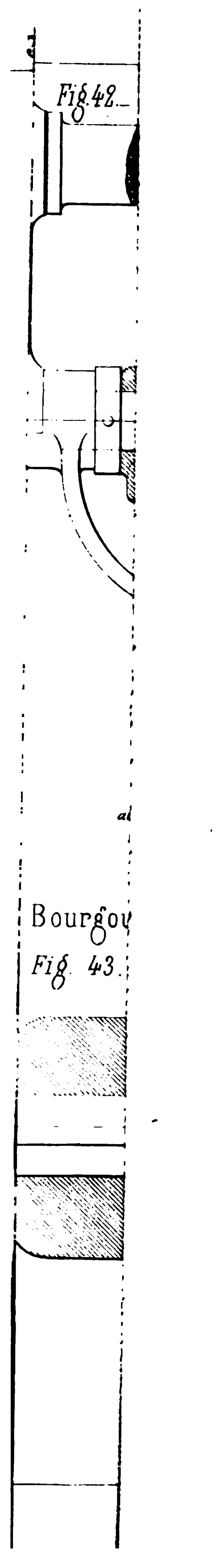
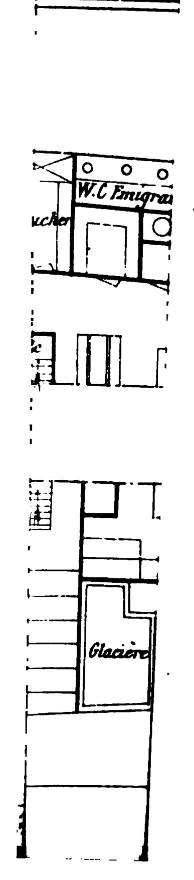
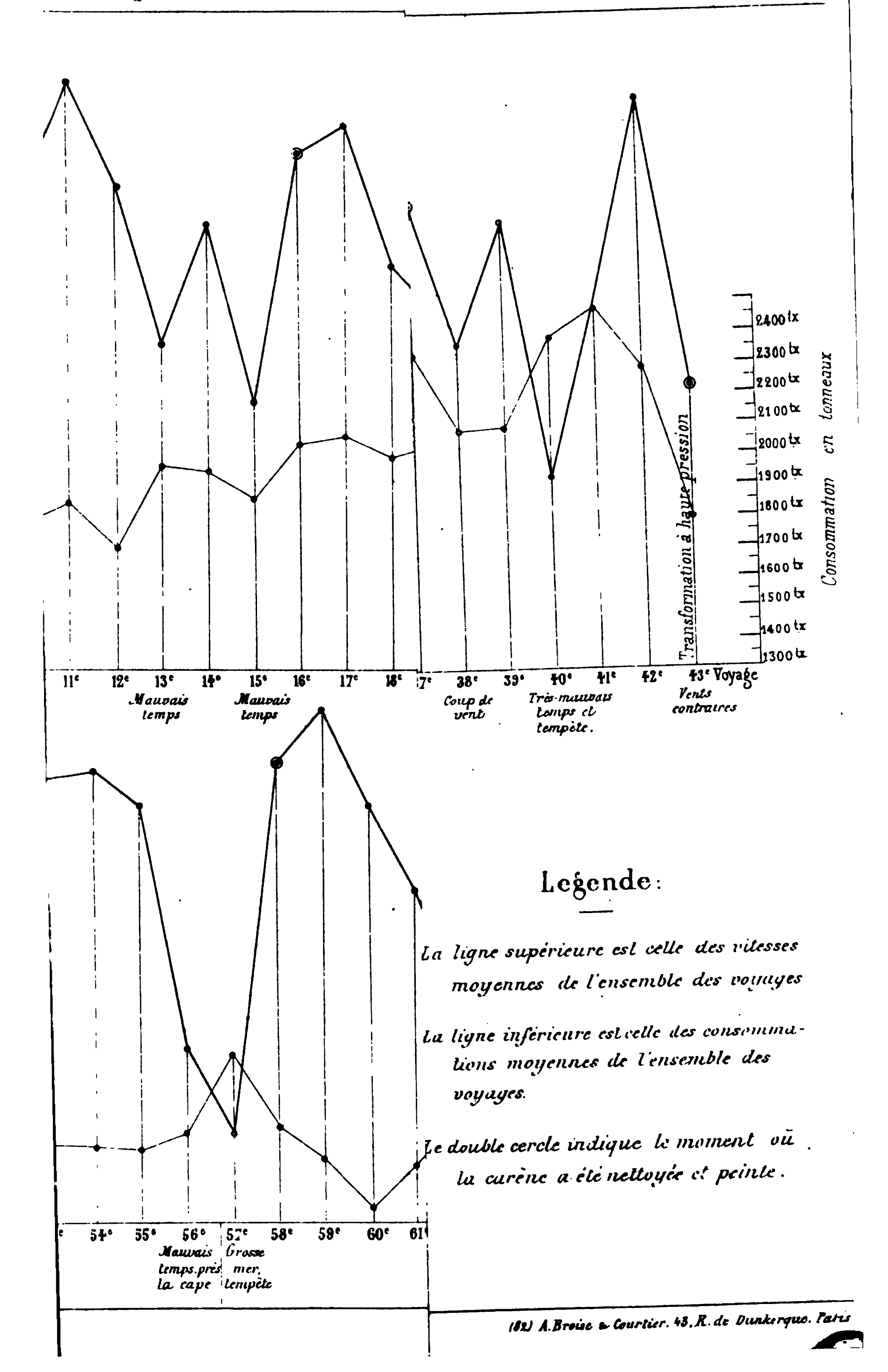


Fig. 42.
Bourgou
Fig. 43.

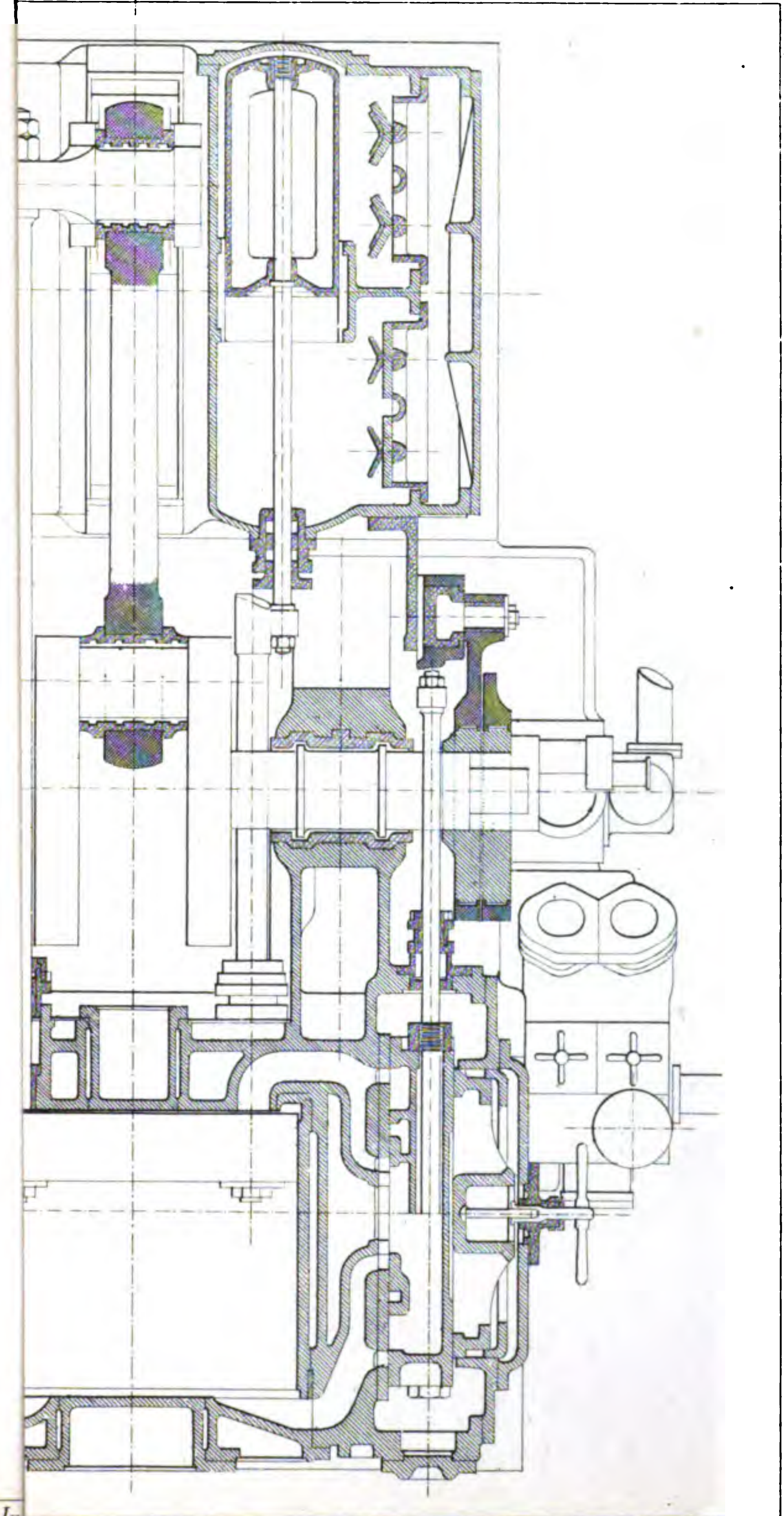
Passagers

Consommation en tonneaux



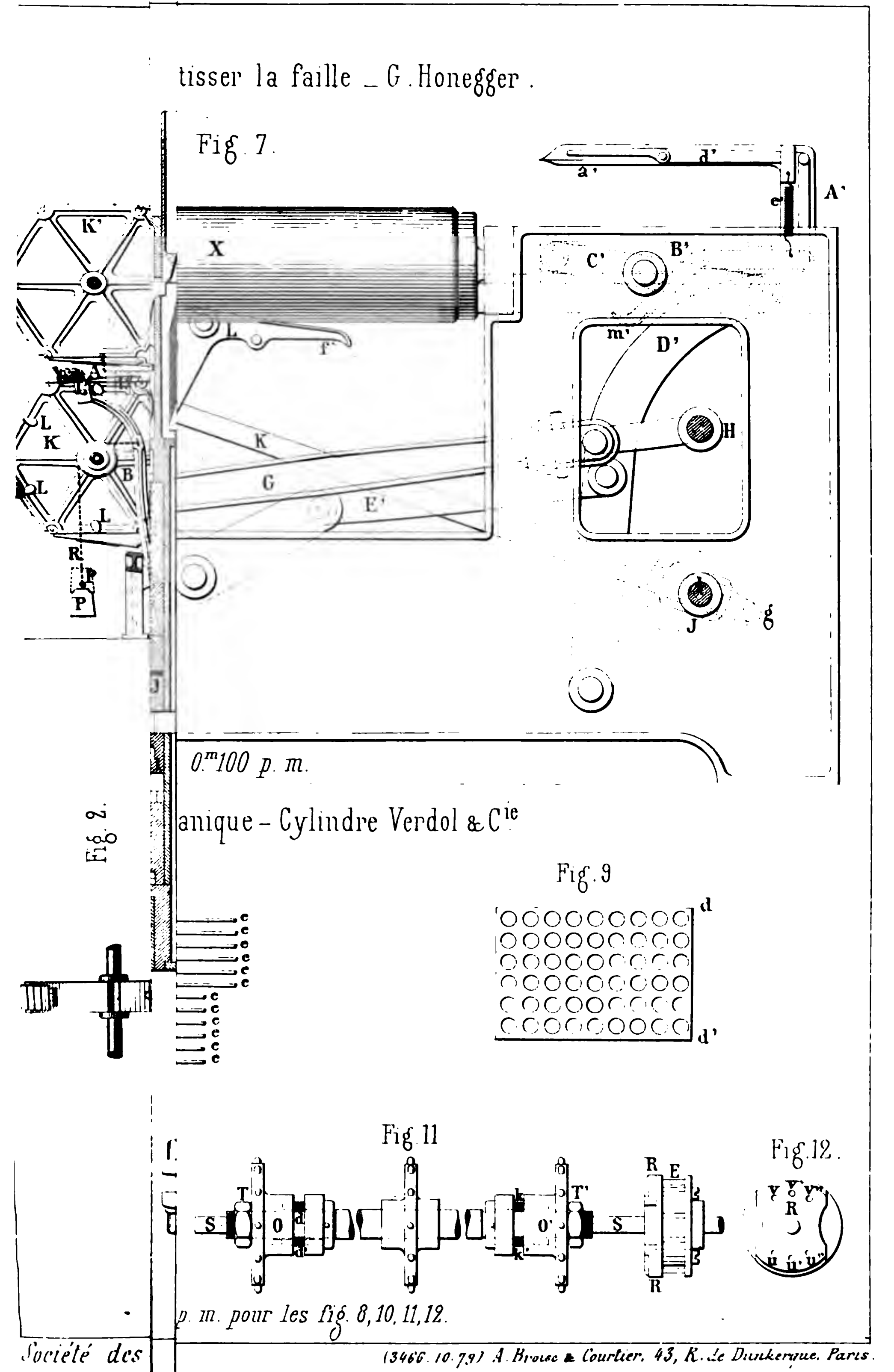


(82) A. Broise & Courtier. 43, R. de Dunkerque. Paris



(744) A. Broise & Courtier, 43, R. de Dunkerque, Paris

tisser la faille _ G. Honegger.

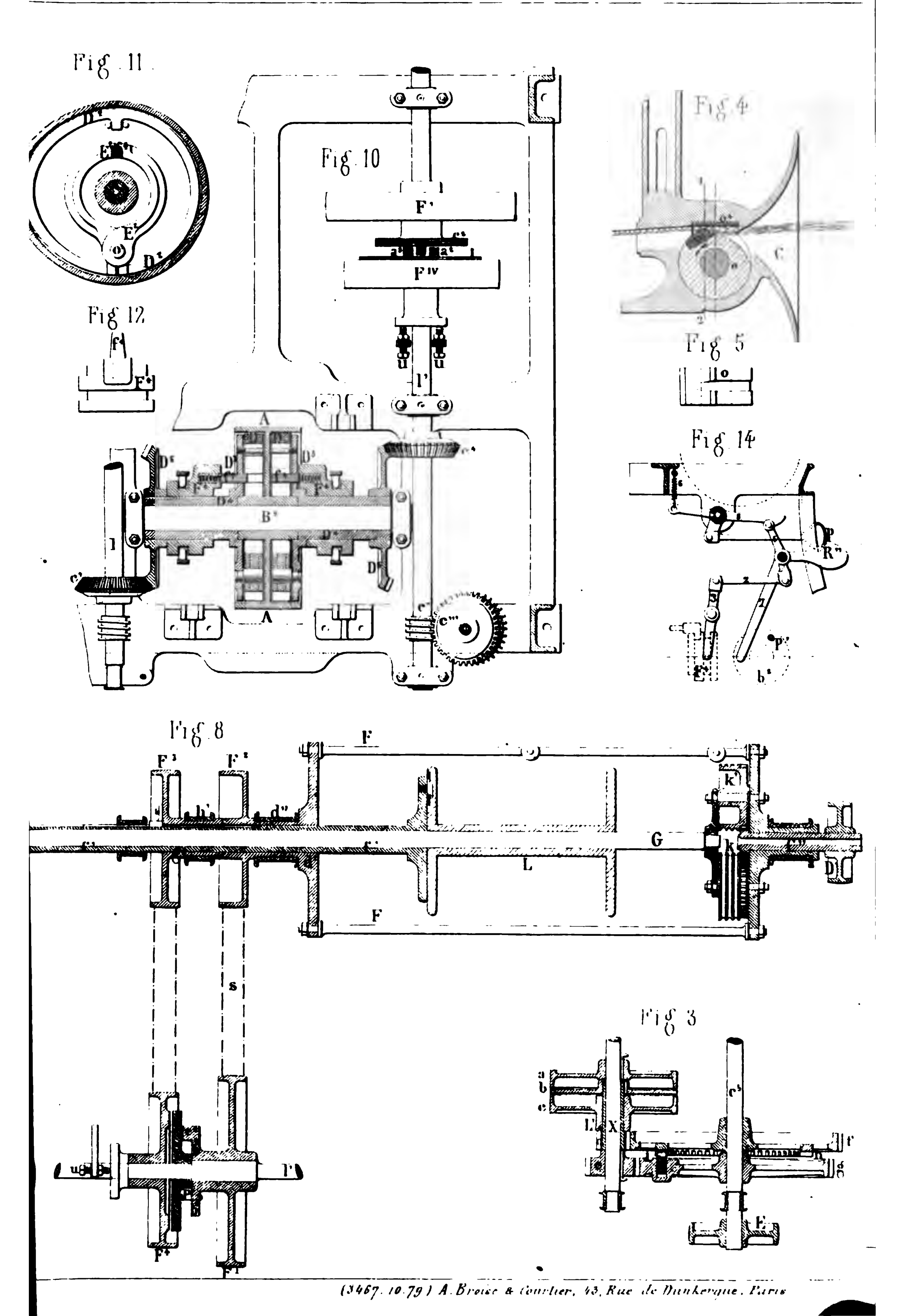


0.m100 p. m.

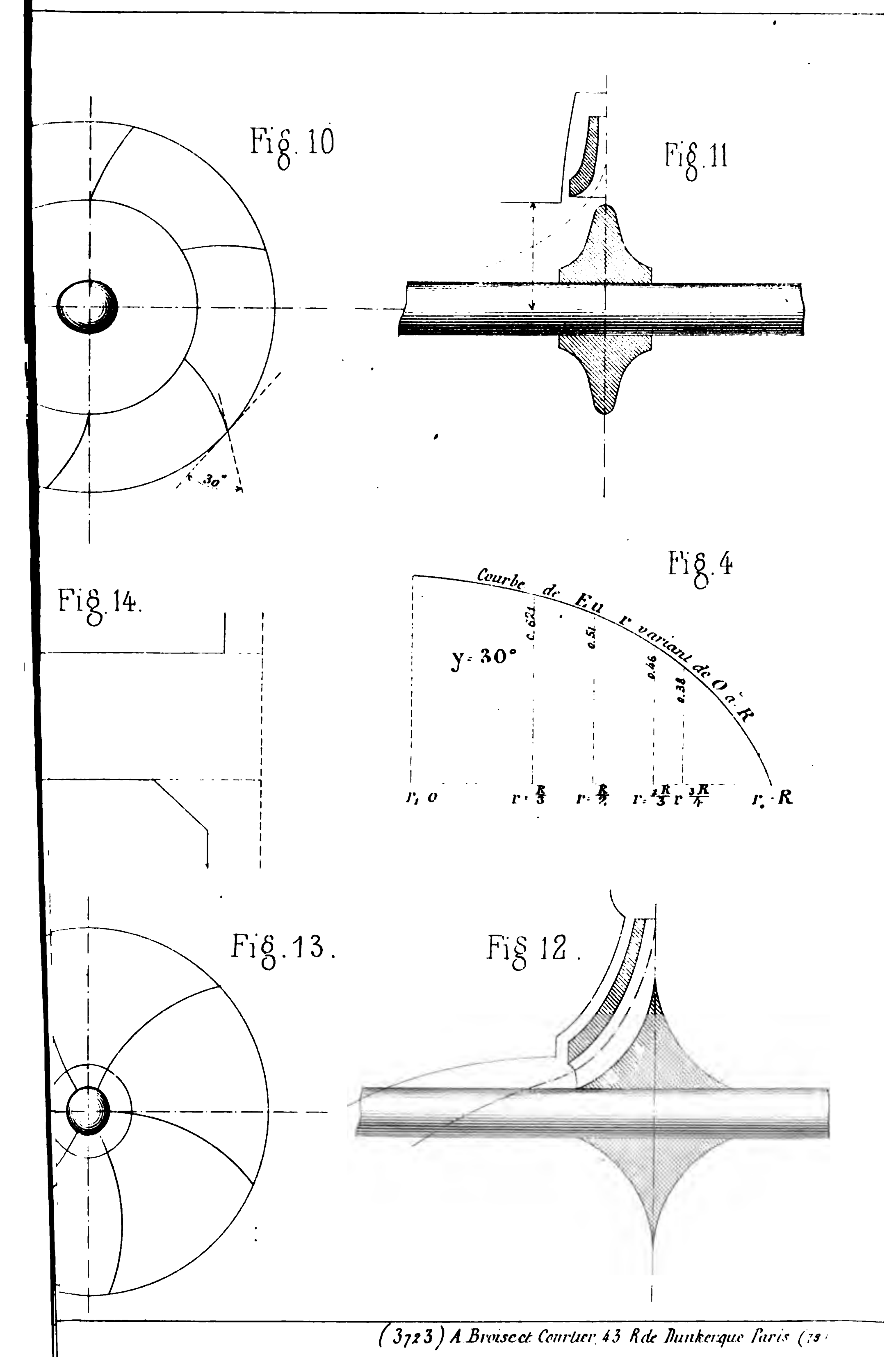
anique – Cylindre Verdol & C[ie]

p. m. pour les fig. 8, 10, 11, 12.

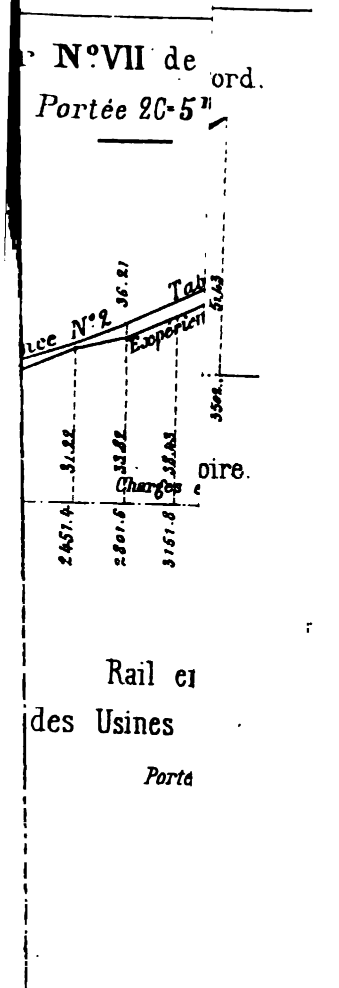
(3466. 10. 79) A. Brosse & Courtier, 43, R. de Dunkerque. Paris.



(3467. 10. 79) A. Broise & Courtier, 43, Rue de Dunkerque, Paris



(3723) A. Broise et Courtier. 43 R. de Dunkerque Paris (79)


N°VII de
ord.
Portée 20-5
Tab
nce N°2
Expérien
56.21
51.43
3502
31.22
33.82
38.03
oire.
Charges
2451.4
2801.6
3151.8
Rail e
des Usines
Porté

